



TUGAS AKHIR – RC14 -1501

**OPTIMASI BIAYA PENGGUNAAN ALAT BERAT  
PADA PROYEK PEMBANGUNAN *UNDERPASS*  
MAYJEN SUNKONO SURABAYA**

DENNY DWIPUTRA NOTOPRASETIO  
NRP. 3114 106 051

Dosen Pembimbing  
Cahyono Bintang Nurcahyo, ST.,MT

Program Sudi Lintas Jalur Sarjana Teknik Sipil  
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2017



TUGAS AKHIR – RC14-1501

**OPTIMASI BIAYA PENGGUNAAN ALAT BERAT  
PADA PROYEK PEMBANGUNAN *UNDERPASS*  
MAYJEN SUNKONO SURABAYA**

DENNY DWIPUTRA NOTOPRASETIO  
NRP. 3114 106 051

Dosen Pembimbing  
Cahyono Bintang Nurcahyo, ST.,MT

Program Sudi Lintas Jalur Sarjana Teknik Sipil  
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2017



FINAL PROJECT - RC14-1501

**COST OPTIMIZATION IN THE USE OF HEAVY  
EQUIPMENT PROJECT AT UNDERPASS  
MAYJEN SUNGKONO SURABAYA**

DENNY DWIPUTRA NOTOPRASETIO  
NRP. 3114 106 051

Counsellor Lecturer  
Cahyono Bintang Nurcahyo, ST.,MT

Civil Engineering Departement  
Faculty of Civil Engineering and Planning  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2017

# **OPTIMASI BIAYA PENGGUNAAN ALAT BERAT PADA PROYEK PEMBANGUNAN *UNDERPASS* MAYJEN SUNKONO SURABAYA**

## **TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
Pada

Program Studi S-1 Lintas Jalur Jurusan Teknik Sipil  
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

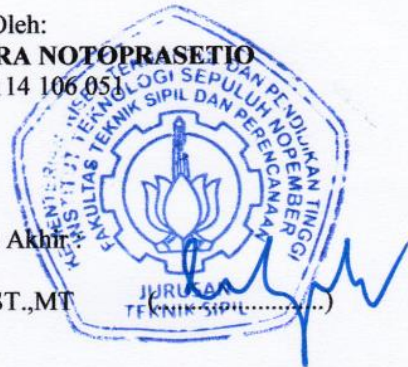
Oleh:

**DENNY DWIPUTRA NOTOPRASETIO**

NRP. 3114 106 051

Disetujui Oleh Pembimbing Tugas Akhir

1. Cahyono Bintang Nurcahyo, ST.,MT



**SURABAYA  
JANUARI, 2017**

# **OPTIMASI BIAYA PENGGUNAAN ALAT BERAT PADA PROYEK PEMBANGUNAN UNDERPASS MAYJEN SUNGKONO SURABAYA**

Nama Mahasiswa : Denny Dwiputra Notoprasetio  
NRP : 3114106051  
Jurusan : Teknik Sipil FTSP-ITS  
Dosen Konsultasi : Cahyono Bintang Nurcahyo, ST.,MT  
NIP : 19820731 200812 1 002

## **Abstrak**

*Alat berat memegang peranan penting karena dapat mempermudah dan membantu pekerja dalam menyelesaikan proyek terutama untuk proyek dengan skala besar. Alat berat yang akan digunakan pada suatu proyek harus diperhatikan karena berpengaruh terhadap waktu dan biaya pelaksanaan proyek. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan optimasi biaya penggunaan alat berat yang akan dianalisa pada pekerjaan tanah proyek underpass Mayjen Sungkono Surabaya.*

*Pemilihan alat berat dilakukan dengan menghitung masing-masing biaya dan jumlah alat berat pada pekerjaan galian, timbunan dan pemadatan tanah pada proyek pembangunan underpass mayjen sungkono Surabaya, dan dipilih berdasarkan batasan-batasan yang ada yaitu batasan biaya, batasan waktu, batasan jumlah alat berat, dan batasan produksi alat berat. Batasan ini akan digunakan sebagai kendala dalam penganalisaan Penelitian ini. Analisa yang digunakan untuk menentukan jumlah masing-masing alat berat adalah dengan menggunakan program linier metode simpleks.*

*Dari hasil analisa alat berat menggunakan program linier metode simpleks didapatkan alat berat yaitu, 2 buah Excavator, 2 buah Bulldozer, 1 buah Motor Grader dan 1 buah Vibratory Roller, dengan biaya Rp.791.164 /jam untuk pekerjaan galian, Rp.1.544.688 /jam untuk pekerjaan timbunan.*

***Kata kunci : optimasi, alat berat, program linier***

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***

# **COST OPTIMIZATION IN THE USE OF HEAVY EQUIPMENT PROJECT AT UNDERPASS MAYJEN SINGKONO SURABAYA**

Student Name : Denny Dwiputra Notoprasetio  
Student Number : 3114106051  
Major Study : Civil Engineering FTSP-ITS  
Counsellor Lecturer : Cahyono Bintang Nurcahyo, ST.,MT  
Lecturer Number : 19820731 200812 1 002

## **Abstract**

*Heavy equipment plays an important role because it can facilitate and assist employees in completing the project, especially for projects in a large scale. Heavy equipment which is used in a project must be considered because it affects the time and cost of the project. This research aims to optimize the costs of using the heavy equipment that will be analyzed for the underpass project in Mayjen Sungkono Surabaya.*

*The selection of heavy equipment was done by calculating the respective costs and the amount of heavy equipment excavation work, pile and soil compaction on development projects in underpass Mayjen Sungkono Surabaya, and selected based on the boundaries that exist which limit costs, time constraints, limits the number of heavy equipment, and limit the production of heavy equipment. These limits will be used as an obstacle in analyzing this thesis. The analysis which is used to determine the number of each machine is linear program.*

*From the analysis tool by using the linear program obtained heavy equipment, namely, two excavators, two bulldozers, one Motor Graders and one Vibratory Rollers, at a cost of Rp.791.164 / hour in excavation work, and Rp.1.544.688 / hour in embankments work.*

**Keywords:** *optimization, heavy equipment, linear programming*

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***



## **KATA PENGANTAR**

Puji syukur kami panjatkan kehadirat Allah SWT atas segala limpahan rahmat, hidayah, dan karunia-Nya sehingga kami dapat menyelesaikan dan menyusun tugas akhir ini.

Tersusunnya tugas akhir ini juga tidak terlepas dari dukungan dan motivasi dari berbagai pihak yang telah banyak membantu dan memberi masukan serta arahan kepada kami. Untuk itu kami ucapkan terima kasih terutama kepada :

1. Kedua orang tua, saudara-saudara kami tercinta, sebagai penyemangat terbesar bagi kami, dan yang telah banyak memberi dukungan moril maupun materil terutama doanya.
2. Bapak Cahyono Bintang Nurcahyo.,ST.,MT selaku dosen pembimbing saya yang telah banyak memberikan bimbingan, arahan, petunjuk, dan motivasi dalam penyusunan tugas akhir ini.
3. Ibu Yusroniya Eka Putri.,ST.,MT selaku dosen selaku dosen wali saya yang telah banyak memberikan dukungan dan semangat dalam proses penyusunan tugas akhir ini.
4. Teman-teman terdekat yang tidak bisa disebutkan satu persatu, terimakasih atas bantuannya dan saran-saran yang telah diberikan selama proses pengerjaan tugas akhir ini.

Kami menyadari bahwa dalam penyusunan tugas akhir ini masih banyak kekurangan dan masih jauh dari sempurna, untuk itu kami mengharapkan kritik dan saran yang membangun demi kesempurnaan tugas akhir ini.

Akhir kata, semoga apa yang kami sajikan dapat memberikan manfaat bagi pembaca dan semua pihak.

Surabaya, Januari 2017

## DAFTAR ISI

|   |             |
|---|-------------|
| <b>HALAMAN JUDUL.....</b>                                 | <b>i</b>    |
| <b>LEMBAR PENGESAHAN.....</b>                             | <b>v</b>    |
| <b>ABSTRAK.....</b>                                       | <b>vii</b>  |
| <b>ABSTRACT .....</b>                                     | <b>ix</b>   |
| <b>KATA PENGANTAR .....</b>                               | <b>xi</b>   |
| <b>DAFTAR ISI.....</b>                                    | <b>ix</b>   |
| <b>DAFTAR GAMBAR .....</b>                                | <b>xi</b>   |
| <b>DAFTAR TABEL.....</b>                                  | <b>xiii</b> |
| <b>BAB I PENDAHULUAN .....</b>                            | <b>1</b>    |
| 1.1. Latar Belakang .....                                 | 1           |
| 1.2. Rumusan Masalah .....                                | 2           |
| 1.3. Maksud dan Tujuan.....                               | 3           |
| 1.4. Batasan Masalah.....                                 | 3           |
| 1.5. Manfaat Penulisan.....                               | 3           |
| <b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....</b>                      | <b>5</b>    |
| 2.1. Tinjauan Umum .....                                  | 5           |
| 2.2. Sifat Fisik Material Tanah.....                      | 5           |
| 2.3. Perubahan Kondisi Material .....                     | 6           |
| 2.4. Rencana Metode Kerja Dan Pelaksanaan Pekerjaan ..... | 10          |
| 2.4.1. Pekerjaan galian tanah .....                       | 10          |
| 2.4.2. Timbunan Tanah.....                                | 11          |
| 2.5. Alat berat pada pekerjaan tanah underpass .....      | 11          |
| 2.5.1. <i>Excavator</i> .....                             | 12          |
| 2.5.2. <i>Bulldozer</i> .....                             | 14          |
| 2.5.3. <i>Motor Grader</i> .....                          | 15          |
| 2.5.4. <i>Compactor</i> .....                             | 17          |
| 2.6. Biaya Operasional Alat Berat.....                    | 22          |
| 2.7. Analisa Program Linier dengan Metode Simpleks .....  | 24          |
| 2.7.1. Program linier .....                               | 24          |
| 2.7.2. Metode Simpleks .....                              | 25          |

|   |           |
|---|-----------|
| <b>BAB III METODOLOGI.....</b>                                      | <b>31</b> |
| 3.1 Uraian Umum.....  | 31        |
| 3.2 Tahapan Penelitian .....  | 31        |
| 3.3 Diagram Alir ( <i>Flow Chart</i> ).....                         | 36        |
| <b>BAB IV ANALISA DATA .....</b>                                    | <b>37</b> |
| 4.1 Gambaran Umum Proyek.....                                       | 37        |
| 4.2 Data Teknis Proyek.....   | 38        |
| 4.3. Pembuatan Permodelan Matematis .....                           | 39        |
| 4.4. Penentuan Tujuan.....  | 41        |
| 4.5. Penentuan Pembatas.....  | 44        |
| 4.5.1. Pembatas Biaya.....  | 44        |
| 4.5.2. Pembatas Waktu .....   | 47        |
| 4.5.3. Pembatas Jumlah Alat Berat .....                             | 53        |
| 4.5.4. Pembatas Produksi Alat .....                                 | 54        |
| 4.6. Penentuan Solusi Optimum.....                                  | 60        |
| 4.7. Penjadwalan Penggunaan Alat.....                               | 66        |
| 4.8. Metode Pelaksanaan Dari Hasil Optimum .....                    | 68        |
| 4.8.1. Pekerjaan Galian Tanah.....                                  | 68        |
| 4.8.2. Pekerjaan Timbunan Tanah .....                               | 69        |
| 4.9. Menghitung Biaya Alat Berat Dari Hasil Solusi<br>Optimum ..... | 73        |
| <b>BAB V KESIMPULAN &amp; SARAN.....</b>                            | <b>75</b> |
| 5.1. Kesimpulan .....   | 75        |
| 5.2. Saran.....   | 75        |
| <b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>   | <b>77</b> |
| <b>LAMPIRAN</b>   |           |
| <b>BIODATA PENULIS</b>  |           |

## DAFTAR GAMBAR

|                   |   |    |
|-------------------|---|----|
| <b>Gambar 1.1</b> | Peta Lokasi .....                         | 4  |
| <b>Gambar 2.1</b> | Keadaan Material Dalam Earth Moving ..... | 6  |
| <b>Gambar 2.2</b> | <i>Excavator</i> .....                    | 12 |
| <b>Gambar 2.3</b> | <i>Bulldozer</i> .....                    | 15 |
| <b>Gambar 2.4</b> | <i>Motor Grader</i> .....                 | 16 |
| <b>Gambar 2.5</b> | <i>Vibrating Roller</i> .....             | 20 |
| <b>Gambar 3.1</b> | Diagram Alir Metodologi.....              | 36 |
| <b>Gambar 4.1</b> | Peta Situasi <i>Underpass</i> .....       | 37 |
| <b>Gambar 4.2</b> | Hasil Analisa Program QM.....             | 65 |

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***

## DAFTAR TABEL

|  |    |
|--|----|
| <b>Tabel 2.1</b> <i>Swelling Factor</i> .....              | 7  |
| <b>Tabel 2.2</b> Faktor Konversi Volume Tanah .....        | 9  |
| <b>Tabel 2.3</b> tahapan pekerjaan tanah.....              | 10 |
| <b>Tabel 2.4</b> <i>Bucket Factor (BF) Excavator</i> ..... | 13 |
| <b>Tabel 2.5</b> Faktor Waktu Gali <i>Excavator</i> .....  | 14 |
| <b>Tabel 2.6</b> Faktor Waktu Putar <i>Excavator</i> ..... | 14 |
| <b>Tabel 2.7</b> <i>Factor Blade Bulldozer</i> .....       | 15 |
| <b>Tabel 2.8</b> Pembagian Fungsi Alat Pemadat .....       | 18 |
| <b>Tabel 2.9</b> Efisiensi Waktu ( <b>Ft</b> ).....        | 20 |
| <b>Tabel 2.10</b> Faktor Efisiensi Kerja ( <b>E</b> )..... | 21 |
| <b>Tabel 2.11</b> Nilai Efisiensi Operator .....           | 21 |
| <b>Tabel 2.12</b> Contoh penyelesaian Fase 1 .....         | 29 |
| <b>Tabel 2.13</b> Contoh penyelesaian Fase 2.....          | 30 |

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***



# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Pembangunan di Kota Surabaya semakin berkembang seiring bertambahnya populasi manusia dan kemajuan teknologi. Pembangunan pada berbagai sektor seperti jalan tol, gedung, jembatan, saluran dan pembangunan lainnya sedang berkembang di berbagai wilayah di Kota Surabaya khususnya di daerah Surabaya barat. Surabaya barat mengalami pertumbuhan yang sangat pesat di bidang ekonomi khususnya pada sektor properti. Pertumbuhan yang tinggi pada sektor properti tersebut tentu disertai dengan tingginya intensitas kegiatan pergerakan manusia maupun barang. Serangkaian kegiatan pembangunan infrastruktur dilakukan dengan maksud mengikuti arus perkembangan di sektor properti di Surabaya Barat.

Dengan intensitas kegiatan pergerakan manusia maupun barang yang meningkat maka tuntutan sistem transportasi di Surabaya barat juga semakin meningkat, padahal akses jalan menuju Surabaya barat adalah akses yang selalu macet, maka perlu penambahan jalur-jalur baru atau alternatif baru yang diharapkan mampu mengatasi permasalahan-permasalahan yang terjadi. Untuk menjawab tantangan dari permasalahan tersebut maka dengan pertimbangan secara teknis dan estetika direncanakanlah Proyek Pembangunan *Underpass* di daerah Mayjen Sungkono Surabaya, sebagai alternatif untuk mengurai kemacetan pada akses jalan menuju Surabaya Barat.

Untuk merealisasikan pembangunan konstruksi *Underpass* di Mayjen Sungkono Surabaya, kontraktor dituntut menggunakan metode yang tepat dengan biaya yang seminimal mungkin tanpa mengurangi kualitas bangunan, maka penggunaan alat beratlah yang memegang peranan penting saat proses pelaksanaannya. Tujuan penggunaan alat berat tersebut adalah agar memudahkan para pekerja jasa konstruksi dalam mengerjakan pekerjaan yang

berat, sehingga hasil yang didapatkan dapat dicapai dengan waktu yang relatif lebih singkat serta memenuhi spesifikasi teknis yang telah dipersyaratkan. Keuntungan menggunakan alat berat antara lain waktu pekerjaan lebih cepat, tenaga besar, ekonomis, dan mutu hasil kerja lebih baik. dan tercapainya jadwal yang telah ditentukan.

Pada Proyek *Underpass* Mayjen Sungkono Surabaya terdapat beberapa item pekerjaan yang membutuhkan bantuan alat berat dalam proses pelaksanaannya. Misalnya pada pekerjaan tanah. Proses pekerjaan tanah dengan volume dan kedalaman yang cukup besar, maka membutuhkan beberapa alat berat untuk menunjang efektivitas pekerjaan, masing-masing alat berat memiliki beberapa tipe dimana antara tipe satu dengan tipe yang lain memiliki kapasitas dan biaya sewa yang berbeda-beda. Penggunaan alat berat pada saat pelaksanaan harus diperhitungkan agar penggunaannya dapat optimal. Kondisi optimal yaitu kondisi ideal dimana suatu proyek dapat mencapai biaya minimum tanpa mengabaikan target waktu pelaksanaan pekerjaannya.

Untuk memperoleh hasil biaya yang seminimal mungkin maka perlu dilakukan penelitian supaya didapatkan hasil peralatan alat berat dengan jumlah dan jenis tertentu dengan biaya yang minimal.

Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimasi biaya penggunaan alat berat yang digunakan dalam pembangunan Proyek *Underpass* Mayjen Sungkono Surabaya.

## **1.2. Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang yang telah penulis uraikan di atas, maka permasalahan yang dapat dirumuskan pada Proyek Akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana menentukan besar biaya minimum dari penggunaan alat berat pada proyek pembangunan *Underpass* Mayjen Sungkono Surabaya dengan menggunakan program linier?

### 1.3. Maksud dan Tujuan

Berdasarkan pada perumusan masalah diatas, maka tujuan dari penulisan proyek akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Menentukan biaya minimum penggunaan alat berat pada proyek pembangunan *Underpass* Mayjen Sungkono Surabaya dengan menggunakan program linier.

### 1.4. Batasan Masalah

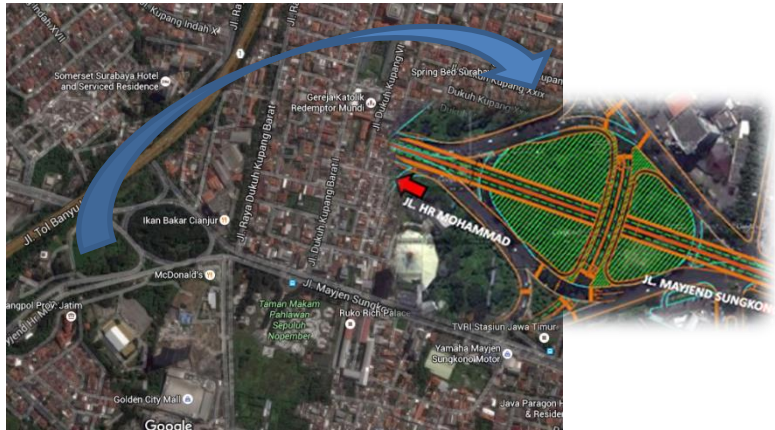
Batasan masalah yang akan dibahas dalam penulisan proyek akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Pemilihan alat berat ini hanya pada pekerjaan galian dan pekerjaan timbunan di *underpass* Mayjen Sungkono Surabaya dan tidak mencakup pekerjaan drainase.
2. Tanah material hasil galian disesuaikan pada keadaan di proyek, yaitu di subkon kan kepada penyedia jasa yang lain sehingga tidak memerlukan *quary*.
3. Tanah material yang dibutuhkan untuk pekerjaan timbunan diasumsikan tersedia ditempat/proyek.
4. Dalam menentukan biaya minimum dilakukan penganalisaan pemilihan dan penentuan jumlah alat berat menggunakan analisa program linier dengan teknik pemecahan metode simpleks.

### 1.5. Manfaat Penulisan

Manfaat yang diperoleh dari penulisan tugas akhir ini memberikan wawasan bagi penulis tentang penentuan solusi optimum dengan menggunakan program linier, dan dapat digunakan pengguna jasa konstruksi dalam menentukan solusi

optimum pada perencanaan pelaksanaan maupun evaluasi pekerjaan.



**Gambar 1.1** Peta Lokasi  
(Sumber: earth.google.com)

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1. Tinjauan Umum**

Alat berat merupakan salah satu unsur penunjang pelaksanaan pekerjaan untuk mencapai target waktu dan volume yang telah ditentukan sebelumnya (Sulistiono 2002). Pada saat suatu proyek akan dimulai, kontraktor akan memilih alat berat yang akan digunakan untuk pengerjaan proyek tersebut. Pemilihan alat berat yang akan dipakai merupakan salah satu faktor penting dalam keberhasilan suatu proyek sehingga dapat berjalan dengan lancar. Salah satu akibat dari kesalahan dalam pemilihan alat berat yaitu mengakibatkan proyek menjadi tidak lancar hingga pembengkakan biaya proyek. Sehingga dalam pemilihan alat berat kita harus memperhatikan klasifikasi alat yang digunakan sesuai dengan metode pelaksanaan dan kebutuhan.

#### **2.2. Sifat Fisik Material Tanah**

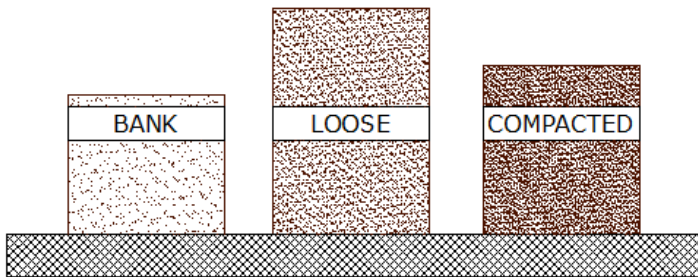
Material yang ada saat ini sangat beraneka ragam, baik jenis, bentuk, dan sebagainya. Oleh karena itu alat yang dapat dipergunakan untuk memindahkan material juga beraneka ragam. Yang dimaksud dengan material dalam bidang pemindahan tanah (*earth moving*) meliputi tanah, batuan, vegetasi (pohon, semak belukar, dan alang-alang) dimana kesemuanya mempunyai karakteristik dan sifat fisik masing-masing yang berpengaruh besar terhadap alat berat terutama dalam hal :

- a. Menentukan jenis alat yang akan digunakan dan taksiran kapasitas produksinya.
- b. Perhitungan volume pekerjaan.
- c. Kemampuan kerja alat pada kondisi material yang ada.

Dengan demikian, harus diperlukan kesesuaian alat dengan kondisi material. Jika tidak, maka akan menimbulkan kesulitan berupa tidak efisiennya alat tersebut sehingga akan menimbulkan kerugian karena banyaknya “*loss time*”.

### 2.3. Perubahan Kondisi Material

perubahan kondisi material adalah perubahan berupa penambahan atau pengurangan volume material (tanah) yang diganggu dari bentuk aslinya. Dari faktor tersebut bentuk material dibagi dalam 3 keadaan seperti ditunjukkan pada Gambar 2.1



**Gambar 2.1** Keadaan Material Dalam Earth Moving

Sumber : Tenrisukki, 2003

#### 1. Keadaan Asli (*Bank Condition*)

Keadaan material yang masih alami dan belum mengalami gangguan teknologi disebut keadaan asli (bank). Dalam keadaan seperti ini butiran-butiran yang dikandungnya masih terkonsolidasi dengan baik. Ukuran tanah demikian biasanya dinyatakan dalam ukuran alam atau bank measure = *Bank Cubic Meter* (BCM) yang digunakan sebagai dasar perhitungan jumlah pemindahan tanah.

## 2. Keadaan Lepas (*Loose Condition*)

Keadaan material (tanah) setelah dilakukan pengerjaan (*disturb*), tanah demikian misalnya terdapat di depan dozer blade, di atas truck, di dalam bucket dan sebagian material yang tergali dari tempat asalnya, akan mengalami perubahan volume (mengembang). Hal ini disebabkan adanya penambahan rongga udara di antara butiran - butiran tanah. Ukuran volume tanah dalam keadaan lepas biasanya dinyatakan dalam loose measure = *Loose Cubic Meter* (LCM) yang besarnya sama dengan  $BCM + \% \text{ swell} \times BCM$  dimana faktor “*swell*” tergantung jenis tanah. Dengan demikian dapat dimengerti bahwa LCM mempunyai nilai yang lebih besar dari BCM.

## 3. Keadaan Padat (*Compact Condition*)

Keadaan tanah setelah ditimbun kembali dengan disertai usaha pemadatan. Keadaan ini akan dialami oleh material yang mengalami proses pemadatan. Perubahan volume terjadi karena adanya penyusutan rongga udara di antara partikel – partikel tanah tersebut. Dengan demikian volumenya berkurang, sedangkan beratnya tetap. Volume tanah setelah diadakan pemadatan, mungkin lebih besar atau mungkin juga lebih kecil dari volume dalam keadaan bank, hal ini tergantung dari usaha pemadatan yang dilakukan. Ukuran volume tanah dalam keadaan padat biasanya dinyatakan dalam *compact measure* = *Compact Cubic Measure* (CCM). Sebagai gambaran berikut disajikan tabel mengenai faktor kembang tanah :

**Tabel 2.1** *Swelling Factor*

| Jenis Tanah     | Swell (%BM) |
|-----------------|-------------|
| Pasir           | 5 – 10      |
| Tanah Permukaan | 10 – 25     |
| Tanah Biasa     | 20 – 45     |
| Lempung         | 30 – 60     |
| Batu            | 50 – 60     |

Sumber : Tenrisukki (2003)

Perlu diketahui bahwa angka – angka yang tertera pada Tabel 2.2. di atas tidak pasti tergantung dari berbagai faktor yang dijumpai secara nyata di lapangan. Selain itu perlu diketahui faktor tanah yang dapat berpengaruh terhadap produktivitas alat berat yaitu berat material, kekerasan, dan daya ikat (*cohesivity*). Sebagai contoh untuk tabel di atas adalah sebagai berikut :

|   |                             |
|---|-----------------------------|
| Tanah biasa pada keadaan asli ( <i>Bank</i> ) | : 1 m <sup>3</sup>          |
| <i>Swell</i> 20% - 45% (tanah biasa)          | : 0.2 – 0.45 m <sup>3</sup> |
| Volume dalam keadaan lepas ( <i>Loose</i> )   | : 1.2 – 1.45 m <sup>3</sup> |

Dalam perhitungan produksi, material yang didorong atau digusur dengan menggunakan *blade*, yang dimuat dengan bucket atau *vessel*, kemudian dihampar adalah dalam kondisi gembur. Untuk menghitung volume tanah yang telah diganggu dari bentuk aslinya, dengan melakukan penggalian material tersebut, atau melakukan pemadatan dari material yang sudah gembur ke padat, perlu dikalikan dengan suatu faktor yang disebut “faktor konversi” yang dapat dibaca dengan mudah pada Tabel 2.3.



**Tabel 2.2** Faktor Konversi Volume Tanah

| Jenis Material                                     | Kondisi | Perubahan Kondisi |        |       |
|--|---------|-------------------|--------|-------|
|  | Awal    | Awal              | Gembur | Padat |
| <i>Sand</i> / Tanah Berpasir                       | (A)     | 1,00              | 1,11   | 0,99  |
|  | (B)     | 0,90              | 1,00   | 0,80  |
|  | (C)     | 1,05              | 1,17   | 1,00  |
| <i>Sand Clay</i> / Tanah Biasa                     | (A)     | 1,00              | 1,25   | 0,90  |
|  | (B)     | 0,80              | 1,00   | 0,72  |
|  | (C)     | 1,11              | 1,39   | 1,00  |
| <i>Clay</i> / Tanah Liat                           | (A)     | 1,00              | 1,25   | 0,90  |
|  | (B)     | 0,70              | 1,00   | 0,72  |
|  | (C)     | 1,11              | 1,39   | 1,00  |
| <i>Gravelly Soil</i> / Tanah Berkerikil            | (A)     | 1,00              | 1,25   | 1,08  |
|  | (B)     | 0,85              | 1,00   | 0,91  |
|  | (C)     | 0,93              | 1,59   | 1,00  |
| <i>Gravels</i> / Kerikil                           | (A)     | 1,00              | 1,18   | 1,29  |
|  | (B)     | 0,88              | 1,00   | 0,91  |
|  | (C)     | 0,97              | 1,10   | 1,00  |
| Kerikil Besar Dan Padat                            | (A)     | 1,00              | 1,42   | 1,03  |
|  | (B)     | 0,70              | 1,00   | 0,91  |
|  | (C)     | 0,77              | 1,10   | 1,00  |
| Pecahan Batu Kapur, Batu Pasir, Cadas Lunak, Sirtu | (A)     | 1,00              | 1,65   | 1,22  |
|  | (B)     | 0,61              | 1,00   | 0,74  |
|  | (C)     | 0,82              | 1,35   | 1,00  |
| Pecahan Granit, Basalt, Cadas Keras, Dan Lainnya   | (A)     | 1,00              | 1,70   | 1,31  |
|  | (B)     | 0,59              | 1,00   | 0,77  |
|  | (C)     | 0,76              | 1,30   | 1,00  |
| Pecahan Cadas <i>Broken Rock</i>                   | (A)     | 1,00              | 1,75   | 1,40  |
|  | (B)     | 0,57              | 1,00   | 0,80  |
|  | (C)     | 0,71              | 1,24   | 1,00  |
| Ledakan Batu Cadas, Kapur Keras                    | (A)     | 1,00              | 1,80   | 1,30  |
|  | (B)     | 0,56              | 1,00   | 0,72  |
|  | (C)     | 0,77              | 1,38   | 1,00  |

Sumber : Tenrisukki (2003)

## 2.4. Rencana Metode Kerja Dan Pelaksanaan Pekerjaan

Secara garis besar lingkup pekerjaan proyek meliputi :

1. Pekerjaan galian tanah
2. Pekerjaan timbunan tanah

**Tabel 2.3** tahapan pekerjaan tanah

| TAHAP PEKERJAAN | BAGIAN PEKERJAAN   | PERALATAN YANG DIGUNAKAN  |
|-----------------|--|---|
| Galian Tanah    | 1. Penggalian tanah asli   | 1. <i>Excavator</i>   |
| Timbunan Tanah  | 2. Penghamparan tanah<br>3. Perataan tanah<br>4. Pemadatan tanah | 2. <i>Bulldozer</i><br>3. <i>Motor grader</i><br>4. <i>Vibro Roller</i> |

### 2.4.1. Pekerjaan galian tanah

Pekerjaan ini terdiri dari penggalian, pengangkutan, pembuangan, penimbunan hasil galian dari material hasil galian dan timbunan material pilihan sebagaimana tercantum dalam kontrak. Pekerjaan ini pada umumnya dilaksanakan untuk menghilangkan lapisan tanah atas (*top soil*), untuk *borrow* material, atau untuk pembuangan *waste* material, dan untuk pembentukan tanah sesuai dengan Spesifikasi dan sesuai dengan yang ditampilkan pada gambar atau sebagaimana diarahkan oleh Direksi Pekerjaan.

#### Urutan kerja:

1. Pekerjaan galian tanah digali menggunakan *excavator* dan diangkut dengan *dump truck*.
2. Kedalaman tanah yang akan digali atau dipindahkan tergantung dari elevasi rencana.

#### Peralatan yang dibutuhkan :

1. *Excavator*

### 2.4.2. Timbunan Tanah

Pekerjaan timbunan tanah ini mencakup pengadaan, pengangkutan, penghamparan dan pemadatan tanah atau bahan granular yang disetujui untuk timbunan sesuai dengan garis, kelandaian, dan elevasi penampang melintang yang disyaratkan atau disetujui.

#### Urutan kerja:

1. Sebelum memulai pekerjaan, material timbunan harus sesuai dengan spesifikasi yang diisyaratkan.
2. Material timbunan dihamparkan setebal maksimal lapisan yang diijinkan dalam spesifikasi teknis dengan menggunakan bulldozer.
3. Setelah proses penghamparan maka diratakan dengan menggunakan motor grader dengan kemiringan yang telah direncanakan.
4. Setelah proses penempatan dan penghamparan timbunan, setiap lapis dipadatkan dengan alat pemadat *vibration roller*.
5. Seluruh permukaan akhir timbunan yang terekspos harus cukup rata dan harus memiliki kelandaian yang cukup untuk menjamin aliran air permukaan yang bebas.

#### Peralatan yang dibutuhkan :

1. *Bulldozer*
2. *Motor Grader*
3. *Vibration Roller*

### 2.5. Alat berat pada pekerjaan tanah underpass

Dalam pekerjaan tanah pada pembangunan Underpass Mayjen Sungkono Surabaya terdapat beberapa alat berat, *excavator* untuk pekerjaan galian. Setiap alat berat mempunyai perhitungan produktivitas yang berbeda tergantung pada fungsi kerja alat tersebut.

### 2.5.1. *Excavator*

Alat ini dapat berfungsi sebagai alat gali serbaguna (*multipurpose*) berjalan memakai roda putaran rantai/*Track crawler*. dapat juga difungsikan untuk menumpuk *stock pile*, mengangkat/memuat tanah, bahan material keatas dump truck untuk dibawa ke lokasi pekerjaan.

$$\text{Produktivitas (Q)} = \frac{q \times 60 \times E}{C_m} \quad \text{m}^3/\text{jam}$$

Dimana :

Q= Produksi per siklus ( $\text{m}^3$ )

$q = KB \times BF \times E$

KB = Kapasitas *Bucket*

BF = Bucket Factor

E = Faktor efisiensi kerja

$C_m$  = Waktu siklus (menit)

= waktu gali + (waktu putar x2) + waktu buang



**Gambar 2.2** *Excavator*

Sumber : [komatsu.com.au/2016](http://komatsu.com.au/2016)

**Tabel 2.4 Bucket Factor (BF) Excavator**

|            |   |             |
|------------|---|-------------|
| ringan     | Menggali dan memuat atau material yang telah dikeruk oleh <i>excavator</i> lain, yang tidak membutuhkan gaya gali dan dapat dibuat munjung dalam bucket.  | 1,00 – 0,00 |
| sedang     | Menggali dan memuat <i>stockpile</i> lepas dari tanah yang lebih sulit untuk digali dan dikeruk tetapi dapat dimuat hampir munjung. Pasir kering, tanah berpasir, tanah campuran tanah liat, tanah liat gravel yang belum disaring, pasir yang telah memadat dan sebagainya, atau menggali dan memuat gravel langsung dari bukit gravel asli. | 0,80 – 0,60 |
| agak sulit | Menggali dan memuat batu-batu pecah, tanah liat yang keras, pasir campur kerikil, tanah berpasir, tanah koloidal liat, tanah liat dengan kadar air tinggi yang telah di <i>stockpile</i> oleh <i>excavator</i> lain. Sulit untuk mengisi <i>bucket</i> dengan material tersebut.  | 0,60 – 0,50 |
| sulit      | Bongkahan, batuan besar dengan bentuk tak teratur dengan ruangan diantaranya batuan hasil ledakan, batuan bundar, pasir campur tanah liat, tanah liat yang sulit untuk dikeruk dengan <i>bucket</i> .   | 0,50 – 0,40 |

*Sumber: Rochmandi, 1985*

**Tabel 2.5** Faktor Waktu Gali *Excavator*

| Kedalaman<br>Galian | Kondisi Penggalian |         |            |              |
|---------------------|--------------------|---------|------------|--------------|
|                     | Ringan             | Sedang  | Agak Sulit | Sulit sekali |
|                     | (detik)            | (detik) | (detik)    | (detik)      |
| <b>0m – 2m</b>      | 7                  | 9       | 15         | 26           |
| <b>2m – 4m</b>      | 8                  | 11      | 17         | 28           |
| <b>4m – lebih</b>   | 9                  | 13      | 19         | 30           |

Sumber: Rochmandi, 1985

**Tabel 2.6** Faktor Waktu Putar *Excavator*

| Sudut Putar     | Waktu Putar<br>(detik) |
|-----------------|------------------------|
| <b>45 – 90</b>  | 4 – 7                  |
| <b>90 – 180</b> | 5 – 8                  |

Sumber: Rochmandi, 1985

### 2.5.2. *Bulldozer*

Pada proyek konstruksi terdapat bermacam – macam alat pengolah lahan seperti *dozer*, *ripper*, *motor grader*, dan *scraper*. Fungsi alat pengolah lahan adalah antara lain : (1) mengupas lapisan permukaan, (2) membuka jalan baru, dan (3) menyebarkan material. *Dozer* merupakan traktor yang dipasang pisau (*blade*) dibagian depannya. Pisau berfungsi untuk mendorong, atau memotong material yang ada didepannya (Fatena, 2008).

$$\text{Produktivitas (Q)} = \frac{KB \times 60 \times FK}{\left(\frac{1}{F}\right) + \left(\frac{1}{F}\right) + Z} \text{ m}^3/\text{jam}$$

Dimana :

TP = Taksiran produksi (m<sup>3</sup>/jam)

KB = Kapasitas *blade* (m<sup>3</sup>)

FK = Faktor koreksi

- J = Jarak dorong (m)  
 F = Kecepatan maju (m/menit)  
 R = Kecepatan mundur (m/menit)  
 Z = Waktu tetap (menit)



**Gambar 2.3 Bulldozer**  
 Sumber : komatsu.com.au/2016

**Tabel 2.7 Factor Blade Bulldozer**

| NO | JENIS PEKERJAAN<br>SITUASI | KONDISI MATERIAL<br>DI LOKASI       | BLADE<br>FAKTOR |
|----|----------------------------|-------------------------------------|-----------------|
| 1  | Mudah                      | lunak, stock pile,<br>berpasir      | 1.1 - 0.9       |
| 2  | sedang                     | tanah kerikil, pasir,<br>batu pecah | 0.9 - 0.7       |
| 3  | agak sulit                 | sirtu , tanah cadas                 | 0.7 - 0.6       |
| 4  | sulit                      | batu kali, hasil<br>ledakan         | 0.6 - 0.4       |

Sumber: Rochmandi, 1985

### 2.5.3. Motor Grader

Untuk keperluan perataan tanah, digunakan grader, disamping itu untuk membentuk permukaan yang dikehendaki. Hal ini bisa dilaksanakan karena *blade* dari grader dapat diatur

sedemikian rupa. *Motor grader* digunakan untuk mengupas, memotong, meratakan suatu pekerjaan tanah, terutama pada tahap finishing agar diperoleh hasil pekerjaan dengan kerataan dan ketelitian yang optimal (Tenrisukki, 2003).

$$\text{Produktivitas (Q)} = \frac{(J \times ((Le - Lo) + Lo) \times H \times E \times 60)}{(n \times T3)} \text{ m}^3/\text{jam}$$

Dimana :

V = kecepatan kerja (m/jam)

Le = lebar *blade* efektif (m)

Lo = lebar overlap (m)

E = efisiensi kerja

W = lebar hamparan

J = jarak antar STA

H = tebal lapisan yang dikerjakan (m)

n = jumlah lintasan ( $n = W / (Le - Lo)$ )

T1 = waktu perataan 1 lintasan

T2 = waktu unloading

T3 = cycle time

Q = produksi per-jam ( $\text{m}^3/\text{jam}$ )



**Gambar 2.4** *Motor Grader*  
Sumber : [komatsu.com.au](http://komatsu.com.au)/2016



#### 2.5.4. *Compactor*

Alat ini (*compactor*) digunakan untuk memadatkan tanah atau material sehingga tercapai tingkat kepadatan yang diinginkan. Jenis rodanya bisa terbuat dari besi seluruhnya atau ditambahkan pemberat berupa air atau pasir, bisa terbuat dari karet (berupa roda ban) dengan bentuk kaki kambing (*sheep foot*), ada juga yang ditarik dengan alat penarik seperti *bulldozer*, atau bisa menggunakan mesin penarik sendiri, yang berukuran kecil bisa menggunakan tangan dengan mengendalikannya ke arah yang akan dipadatkan. Untuk pemadatan pengaspalan biasanya menggunakan *road roller*, *tire roller* atau *drum roller*, tetapi untuk pemadatan tanah biasanya menggunakan *sheep foot roller* atau *drum roller*.

Pada dasarnya tipe dan jenis *compactor* adalah sebagai berikut :

1. *Smooth steel rollers* (penggilas besi dengan permukaan halus). Jenis ini dibedakan lagi menjadi beberapa macam, jika ditinjau dari cara pengaturan rodanya, diantaranya :
  - *Three wheel rollers* (penggilas roda tiga)
  - *Tandem rollers* (penggilas tandem)
2. *Pneumatic tired rollers* (penggilas roda ban angin)
3. *Sheep foot type rollers* (penggilas kaki kambing)
4. *Vibratory rollers* (penggilas getar)
5. *Vibratory plate compactor* (alat pemadat-getaran)
6. Alat-alat penggilas lain :

Jenis – jenis *compactor* di atas mempunyai spesifikasi tersendiri untuk dipakai dalam usaha pemadatan bagi berbagai jenis tanah, atau dengan memperhatikan berbagai faktor, seperti pada tabel 2.9 :

**Tabel 2.8** Pembagian Fungsi Alat Pemadat

| Material                         | Steel Wheel | Pneumatic | Vibratory | Tamping Foot | Grid |
|----------------------------------|-------------|-----------|-----------|--------------|------|
| Batuan                           | 1           | 3         | 1         | 1            | 1    |
| Kerikil, Bersih Atau Berlumpur   | 1           | 2         | 1         | 1            | 1    |
| Kerikil, Berlempung              | 1           | 2         | 2         | 1            | 2    |
| Pasir Bersih, Atau Berlumpur     | 3           | 3         | 1         | 3            | 2    |
| Pasir, Berlempung                | 3           | 2         | 2         | 1            | 3    |
| Lempung, Berpasir Atau Berlumpur | 3           | 1         | 2         | 1            | 3    |
| Lempung, Berat                   | 3           | 1         | 2         | 1            | 3    |

Sumber: *Fatena, 2008 (dikutip dari construction methods and management, 1998)*

Keterangan :    1 = direkomendasikan  
                           2 = dapat dipakai  
                           3 = kurang direkomendasikan

Untuk kategori *compactor* lebih lanjut hanya dibahas mengenai *vibration roller* karena alat inilah yang digunakan untuk pemadatan tanah timbunan.

#### **2.5.4.1. Vibrating Roller**

Jenis lain dari *tandem roller* adalah *vibrating roller* (penggilas getar). *Vibrating roller* mempunyai efisiensi pemadatan yang sangat baik. Alat ini memungkinkan digunakan secara luas dalam tiap jenis pekerjaan pemadatan. Efek yang diakibatkan oleh *vibration roller* adalah gaya dinamis terhadap tanah. Butir – butir tanah cenderung mengisi bagian – bagian

kosong yang terdapat di antara butir – butirnya. Sehingga akibat getaran ini tanah menjadi padat dengan susunan yang lebih kompak (Tenrisukki, 2003).

Dalam proses pemadatan yang dilakukan dengan menggunakan *vibrating roller*, perlu diperhatikan faktor – faktor berikut : (1) frekuensi getaran, (2) amplitude getaran, dan (3) gaya sentrifugal yang bekerja. Sistem pendorong, *vibrasi* dan sistem mengemudi dioperasikan oleh tekanan *hidrostatik*, untuk menjamin penanganan yang termudah.

Produksi *vibrating roller* biasanya dinyatakan dalam luasan ( $m^2$ ) yang dapat dipampatkan oleh penggilas sampai kepampatan yang dikehendaki per satuan waktu. Untuk menghitung dapat digunakan Persamaan berikut :

$$\text{Produktivitas (Q)} = \frac{(V \times ((Le - Lo) + Lo) \times H \times E)}{n} \quad (m^3/jam)$$

Dimana :

V = kecepatan kerja (m/jam)

Le = lebar *blade* efektif (m)

Lo = lebar overlap (m)

E = efisiensi kerja

W = lebar pemadatan

H = tebal lapisan yang dikerjakan (m)

n = jumlah lintasan ( $n = W/(Le - Lo)$ )

Q = produksi per-jam ( $m^3/jam$ )

Yang dimaksud satu pass adalah satu lintasan dengan roda gilas melewati satu jalur tertentu. Agar dicapai hasil penggilasan dengan permukaan yang rata, maka tiap pass dengan pass yang berikutnya harus saling menindih (*overlap*) antara 15-30 cm.



**Gambar 2.5 Vibrating Roller**

Sumber : sakairoad.co.id/2016

### 1. Faktor Efisiensi Waktu

Efisiensi waktu merupakan salah satu faktor yang harus diperhitungkan dalam penentuan taksiran produksi alat yang digunakan yang dinilai berdasarkan kondisi pekerjaan seperti ditampilkan pada Tabel 2.10

**Tabel 2.9 Efisiensi Waktu (Ft)**

| <b>Effisiensi Waktu</b> | <b>Faktor</b> |
|-------------------------|---------------|
| Ideal                   | 1,00          |
| Baik                    | 0,85          |
| Sedang                  | 0,75          |
| Kurang                  | 0,60          |

Sumber: Kapasitas Dan Produksi Alat-Alat Berat (*Komatsu Specifications And Application Handbook*) Edition – 7

### 2. Faktor Efisiensi Kerja

Sebagaimana efisiensi waktu, efisiensi kerja pun mutlak diperhitungkan untuk menentukan taksiran produksi alat dengan memperhatikan keadaan medan dan keadaan alat. Efisien kerja tergantung pada banyak faktor, seperti : topografi, keahlian operator, pemilihan standar pemeliharaan, dan sebagainya yang

menyangkut operasi alat. Nilai efisiensi kerja ditunjukkan pada tabel 2.11 :

**Tabel 2.10** Faktor Efisiensi Kerja (E)

| <b>Kondisi operasi alat</b> | <b>Pemeliharaan alat</b> |             |               |              |                     |
|-----------------------------|--------------------------|-------------|---------------|--------------|---------------------|
|                             | <b>Baik sekali</b>       | <b>Baik</b> | <b>Sedang</b> | <b>Buruk</b> | <b>Buruk sekali</b> |
| Baik sekali                 | 0,83                     | 0,81        | 0,76          | 0,70         | 0,63                |
| Baik                        | 0,78                     | 0,75        | 0,71          | 0,65         | 0,50                |
| Sedang                      | 0,72                     | 0,69        | 0,65          | 0,60         | 0,54                |
| Buruk                       | 0,63                     | 0,61        | 0,57          | 0,52         | 0,45                |
| Buruk sekali                | 0,52                     | 0,50        | 0,47          | 0,42         | 0,32                |

Sumber: Kapasitas Dan Produksi Alat-Alat Berat (*Komatsu Specifications And Application Handbook Edition – 7 table 1 – job effeciency : 5-6*)

### 3. Faktor Efisiensi Operator

Sebagaimana efisiensi waktu dan efisiensi kerja, efisiensi operator mutlak mutlak harus diperhitungkan dalam penentuan taksiran produksi alat. Nilai efisiensi di sini sangat dipengaruhi oleh ketrampilan operator yang mengoperasikan alat bersangkutan. Nilai efisiensi operator dapat dilihat pada Tabel 2.12.

**Tabel 2.11** Nilai Efisiensi Operator

| <b>Kondisi kerja</b> | <b>Effisiensi</b> |
|----------------------|-------------------|
| Baik                 | 1,00              |
| Normal               | 0,8               |
| Jelek                | 0,7               |

Sumber : *Ir.Riduan R.Amin,M.T, Manajemen peralatan berat untuk jalan*

## **2.6. Biaya Operasional Alat Berat**

Biaya-biaya yang termasuk biaya pengeluaran alat berat adalah biaya penyewaan alat, biaya mobilisasi dan demobilisasi, dan biaya upah tenaga operator. Peralatan konstruksi yang digerakkan oleh motor bakar (*internal combustion engine*) memerlukan solar, yang juga harus diperhitungkan sebagai biaya operasional. Perhitungan biaya kebutuhan alat berat didapatkan dari perkalian antara volume masing-masing pekerjaan, jumlah alat yang digunakan serta harga satuan pekerjaan.

### **a. Volume Pekerjaan**

Volume pekerjaan merupakan salah satu faktor yang sangat penting dalam perhitungan biaya, yaitu sebagai salah satu faktor pengali untuk harga satuan. Perhitungan volume ini didasarkan pada gambar rencana proyek.

### **b. Biaya penyewaan alat**

Tidak semua peralatan konstruksi dimiliki oleh kontraktor. Dalam menyelesaikan pekerjaan-pekerjaan tertentu, diperlukan peralatan-peralatan khusus yang diperoleh dengan cara menyewa. Biaya penyewaan alat berat tersebut dihitung dalam biaya per jam. Dalam satu bulan biasanya ditentukan batas penyewaan minimum per alat berat. Biaya penyewaan alat bervariasi, tergantung dari jenis dan tipe alat yang akan disewa dan juga tergantung dari tempat alat itu disewa.

### **c. Biaya Mobilisasi dan Demobilisasi**

Alat berat yang disewa dari suatu tempat, membutuhkan biaya transportasi alat tersebut ke lokasi proyek dan biaya transportasi alat tersebut kembali ketempat asalnya. Untuk alat-alat berat tertentu bahkan diperlukan kendaraan khusus untuk mengangkat alat berat tersebut ke lokasi proyek dan sebaliknya. Biaya-biaya yang diperlukan ini termasuk biaya mobilisasi dan demobilisasi. Biaya mobilisasi dan demobilisasi tergantung dari kendaraan untuk mengangkut alat berat yang disewa, dan jauh dekatnya tempat penyewaan ke lokasi proyek. Jadi masing-

masing alat yang disewa dari tempat penyewaan yang berbeda, mempunyai biaya mobilisasi dan demobilisasi yang berbeda.

#### **d. Biaya Operator Alat Berat dan Bahan Bakar**

Besarnya upah kerja untuk operator alat berat adalah tergantung dari lokasi pekerjaan atau proyek, perusahaan yang bersangkutan, peraturan yang berlaku dilokasi, serta kontrak kerja antara dua pihak tersebut.

$$\text{Upah Operator} = \frac{\text{Upah operator} + \text{Pembantu perbulan}}{\text{Jam operasi per bulan (jam)}}$$

Untuk biaya bahan bakar alat berat, jumlah bahan bakar untuk alat berat yang menggunakan bensin atau solar berbeda-beda. Rata-rata yang menggunakan bahan bakar bensin 0.06 galon per *horse-power*, sedangkan untuk alat berat yang berbahan bakar solar mengkonsumsi bahan bakar 0.04 galon per *horse-power* per jam. Nilai yang didapat kemudian dikalikan dengan faktor pengoperasian.

#### **Biaya bahan bakar :**

$$= F \times 0,3 \text{ (premium)} \times h \times PK$$

$$= F \times 0,2 \text{ (solar)} \times h \times PK$$

Dimana:

F = Faktor efisiensi (60% - 80%), (berdasarkan buku manajemen alat berat Ir. Asiyanto, MBA, IPM, diambil nilai tengah yaitu 70%).

H = harga bahan bakar per liter

PK = Nilai PK alat berat yang bersangkutan (horse power)

#### **e. Biaya Operasional Total**

Biaya operasional total yang dikeluarkan untuk masing-masing tipe alat adalah penjumlahan semua biaya yang dikeluarkan untuk penyewaan alat, upah tenaga operator dan

biaya untuk pemakaian solar selama waktu pelaksanaan pekerjaan ditambah biaya mobilisasi dan demobilisasi alat.

$$\text{Total Biaya} = b + c + d + e$$

Dimana:

- a = Biaya sewa
- b = Biaya mobilisasi/demobilisasi
- c = Biaya Operator
- d = Biaya bahan bakar

## **2.7. Analisa Program Linier dengan Metode Simpleks**

### **2.7.1. Program linier**

Program Linier merupakan metode matematik dalam mengalokasikan sumber daya yang terbatas untuk mencapai suatu tujuan seperti emaksimumkan keuntungan dan meminimumkan biaya (siringoringo 2005). Program linier menjelaskan suatu kasus sebagai suatu model matematik dimana terdapat suatu fungsi tujuan dengan beberapa fungsi kendala. Berikut merupakan langkah pengerjaan dalam menggunakan program linier :

#### **1. Pembuatan Formulasi Permasalahan**

Penggambaran dari formulasi permasalahan akan membentuk suatu tujuan dan batasan atau kendala berupa sumber daya, waktu serta alternative-alternatif keputusan. Untuk membuat formulasi permasalahan perlu mengidentifikasi permasalahan dari suatu pekerjaan yang ditinjau serta dipertimbangkan dengan jelas.

Pembuatan formulasi permasalahan bertujuan untuk mendapatkan solusi optimal dari batasan-batasan atau kendala yang mempengaruhi dalam permasalahan. Solusi optimum dapat berupa biaya yang minimum maupun keuntungan maksimum.



## 2. Pembentukan Model Matematik

Pembentukan model matematik diperlukan untuk menggambarkan formulasi permasalahan secara ringkas dengan membentuk suatu fungsi tujuan dan fungsi tujuan (Siringoringo 2005).

Terdapat Karakteristik pada model matematik, antara lain :

### a. Variabel keputusan

Merupakan variable yang menguraikan secara lengkap keputusan-keputusan yang akan dibuat (Marwarni 2008).

### b. Fungsi Tujuan

Merupakan model matematik yang dibentuk untuk mendapatkan solusi dari tujuan yang hendak dicapai. Dalam analisa fungsi tujuan akan diminimalkan atau dimaksimalkan tergantung pada tujuan yang hendak dicapai.

### c. Fungsi Kendala

Merupakan model matematik yang menggambarkan sumber daya yang membatasi dalam penentuan solusi optimum. Fungsi kendala juga dapat disebut sebagai fungsi pembatas karena memiliki tanda batas. Untuk persamaan tanda batas yang mewakili yaitu tanda ( $=$ ), sedangkan untuk pertidaksamaan tanda batas yang mewakili yaitu tanda batas yang mewakili yaitu tanda ( $<$  atau  $>$ ) (siringoringo 2005).

Persoalan optimasi dengan menggunakan program linier terkadang melibatkan banyak pembatas dan banyak variabel sehingga tidak mungkin diselesaikan dengan metode grafik. Oleh karena itu serangkaian prosedur matematik diperlukan dalam mencari solusi persoalan yang lebih rumit. Prosedur yang dapat digunakan yaitu dengan metode simpleks

## 2.7.2. Metode Simpleks

Adalah suatu prosedur matematis untuk mencari solusi optimal dari suatu masalah pemrograman linier yang didasarkan pada proses iterasi (Herjanto 1999) terdapat berbagai macam jenis

dari metode simpleks yaitu metode simpleks biasa, metode m besaar dan metode dual simpleks atau dua fase.

Fungsi kendala dapat dibentuk dengan pertidaksamaan ( $\geq$ ,  $\leq$ ) dan persamaan ( $=$ ). Fungsi kendala dengan pertidaksamaan  $\geq$  mempunyai surplus variable, tidak ada slack variable sedangkan surplus variable tidak bias menjadi variabel basis awal oleh karena itu harus ditambahkan satu variabel baru yang dapat berfungsi sebagai variabel basis awal. Variabel basis yang dapat berfungsi sebagai variabel basis awal hanya slack variabel dan *artificial* variabel (variabel buatan).

Jika semua fungsi kendala menggunakan pertidak samaan  $\leq$  maka variabel pada basis awal seluruhnya merupakan *slack* variabel. Untuk mendapatkan solusi optimal pada kasus seperti ini, maka hal ini dapat diselesaikan dengan metode simpleks biasa. Namun, jika fungsi kendala terdapat pertidaksamaan  $\geq$  maka variabel basis awal merupakan *slack* variabel atau variabel buatan. Untuk mendapatkan solusi optimal pada kasus seperti ini, maka dapat diselesaikan dengan metode simpleks M besar atau metode *Dual* simpleks (Siringoringo, 2012).

Pada persamaan dengan penyelesaian menggunakan metode simpleks, secara umum terdapat beberapa sifat dari bentuk baku program linier, yaitu :

1. Semua kendala merupakan persamaan tanpa nilai negatif pada sisi kanan
2. Tidak ada variabel yang berilai negatif
3. Fungsi tujuan dapat berupa minimalisasi atau maksimalisasi.

Berikut merupakan langkah-langkah penyelesaian dengan menggunakan salah satu metode simpleks yaitu metode simpleks dua fase, yaitu :

1. Bentuk model matematik, kemudian ubah semua fungsi tujuan dan fungsi kendala kedalam bentuk standar. Kemudian tambahkan bilangan *slack* (s) ke semua fungsi tujuan dan kendala. Setelah itu model matematik pada

fase 1 yang berfungsi untuk meminimumkan variabel buatan. Setelah tahap fase 1 selesai dilanjutkan pada fase 2 yang sudah berisi solusi yang dicari.

Contoh :

Minimumkan fungsi tujuan berikut :

$$Z = 6x_1 + 15x_2 + 24x_3$$

Fungsi pembatas :

$$2x_1 + 6x_3 \geq 3$$

$$3x_2 + 4x_3 \geq 5$$

$$x_1, x_2, x_3 \geq 0$$

Fase 1 :

Meminimumkan :

$$r = \sum_{i=1}^2 R_i$$

$$r = R_1 + R_2$$

Terhadap pembatas :

$$2x_1 + 6x_3 \geq 3 \text{ menjadi } 2x_1 + 6x_3 - S_1 + R_1 = 3$$

$$3x_2 + 4x_3 \geq 5 \text{ menjadi } 3x_2 + 4x_3 - S_2 + R_2 = 5$$

Karena :

$$2x_1 + 6x_3 - S_1 + R_1 = 3 \rightarrow R_1 = 3 - 2x_1 - 6x_3 + S_1$$

$$3x_2 + 4x_3 - S_2 + R_2 = 5 \rightarrow R_2 = 5 - 3x_2 - 4x_3 + S_2$$

Maka :

Minimumkan :

$$r = R_1 + R_2 = 8 - 2x_1 - 3x_2 - 10x_3 + S_1 + S_2$$

Pembatas :

$$2x_1 + 6x_3 - S_1 + R_1 = 3$$

$$3x_2 + 4x_3 - S_2 + R_2 = 5$$

2. Masukkan model matematik yang baru dibentuk kedalam tabel iterasi ke-0.
3. Pilih kolom dengan bilangan negatif (-) terbesar.
4. Hitungan rasio dengan membagi solusi dengan kolom yang terpilih.

$$\text{Rasio} = \frac{\text{Solusi}}{\text{Kolom terpilih}}$$

5. Pilih baris dengan bilangan rasio positif (+) terkecil.
6. Selanjutnya angka ditempat pertemuan kolom terpilih dengan baris terpilih disebut dengan angka terpilih.
7. Hitung pengkali dengan mengalikan bilangan negatif satu (-1) dengan bilangan pembagian antara bilangan kolom terpilih dibaris yang sama dengan angka terpilih. Pada baris berikutnya, hitung dengan cara yang sama kecuali pada baris terpilih. Pada baris terpilih perhitungan dilakukan dengan mengalikan bilangan positif satu (+1) dengan angka satu (1) yang dibagi dengan angka terpilih.

$$\text{Pengali} = - \frac{\text{bilangan dikolom terpilih}}{\text{angka terpilih}}$$

$$\text{Pengali di baris terpilih} = + \frac{1}{\text{angka terpilih}}$$

8. Selanjutnya lakukan iterasi ke-1 dengan ngisikan setiap sel angka penjumlahan antara bilangan yang sama di kolom dan baris yang sama paa iterasi sebelumnya dengan suatu bilangan. Bilangan tersebut adalah bilangan hasil dari perkalian antara angka pengali pada iterasi sebelumnya di baris yang sama dengan angka di baris terpilih pada iterasi sebelumnya.
9. Lakukan perhitungan yang sama pada setiap sel kecuali sel-sel di baris yang sama dengan baris terpilih di iterasi sebelumnya. Perhitungan pada sel-sel tersebut menjadi perkalian antara bilangan pada baris terpilih di iterasi sebelumnya dengan bilangan pengali di baris yang sama.

10. Setelah semua sel terisi, lanjutkan dengan mengulangi langkah dari no.3.
11. Iterasi berhenti hinggadidapatkan bilangan positif pada semua angka dibaris pertama.
12. Solusi optimum akan didapatkan pada iterasi terakhir di kolom solusi.

Langkah-langkah penyelesaian dengan menggunakan metode simpleks fase 1 dapat diamati pada tabel 2.12.

**Tabel 2.12** Contoh penyelesaian Fase 1

| ITERASI | BASIS | r | X1     | X2 | X3  | R1     | S1     | R2    | S2     | SOLUSI | RASIO | PENGALI |
|---------|-------|---|--------|----|-----|--------|--------|-------|--------|--------|-------|---------|
| 0       | r     | 1 | -2     | -3 | -10 | 0      | 1      | 0     | 1      | 8      |       | 1,667   |
|         | R1    | 0 | 2      | 0  | 6   | 1      | -1     | 0     | 0      | 3      | 0,5   | 0,167   |
|         | R2    | 0 | 0      | 3  | 4   | 0      | 0      | 1     | -1     | 5      | 1,25  | -0,667  |
| 1       | r     | 1 | 1,333  | -3 | 0   | 1,667  | -0,667 | 0     | 1      | 3      |       | 1,000   |
|         | X3    | 0 | 0,333  | 0  | 1   | 0,167  | -0,167 | 0     | 0      | 0,5    |       | 0,000   |
|         | S2    | 0 | -1,333 | 3  | 0   | -0,667 | 0,667  | 1     | -1     | 3      | 1,00  | 0,333   |
| 2       | r     | 1 | 0      | 0  | 0   | 1      | 0      | 1     | 0      | 0      |       |         |
|         | X3    | 0 | 0,333  | 0  | 1   | 0,167  | -0,167 | 0     | 0      | 0,5    |       |         |
|         | X2    | 0 | -0,444 | 1  | 0   | -0,222 | 0,222  | 0,333 | -0,333 | 1      |       |         |

Hasil pada tabel fase 1 digunakan sebagai input pada fase 2.

Fase 2

Meminimumkan :

$$Z = 6x_1 + 15x_2 + 24x_3$$

Terhadap pembatas :

$$0,333 x_1 + x_3 - 0,167 S_1 = 0,5$$

$$\rightarrow x_3 = 0,5 - 0,333x_1 + 0,167 S_1$$

$$-0,444 x_1 + x_2 + 0,222 S_1 - 0,333 S_2 = 1$$

$$\rightarrow x_2 = 1 + 0,444x_1 - 0,222 S_1 + 0,333 S_2$$

Maka :

$$\text{Minimumkan : } Z = 6x_1 + 15x_2 + 24x_3$$

$$Z = 6x_1 + 15(1 + 0,444x_1 - 0,222S_1 + 0,333S_2) + 24(0,5 - 0,333x_1 + 0,167S_1)$$

$$Z = 6x_1 + 15 + 6,66x_1 - 3,33S_1 + 4,995S_2 + 12 - 7,992x_1 + 4,008S_1$$

$$Z = 4,668x_1 + 0,678S_1 + 4,995S_2 + 27$$

Pembatas :

$$0,333 x_1 + x_3 - 0,167 S_1 = 0,5$$

$$-0,444 x_1 + x_2 + 0,222 S_1 - 0,333 S_2 = 1$$

Langkah-langkah penyelesaian dengan menggunakan metode simpleks fase 1 dapat diamati pada tabel 2.13

**Tabel 2.13** Contoh penyelesaian Fase 2

| ITERASI | BASIS | Z | X1     | X2 | X3 | R1 | S1     | R2 | S2     | SOLUSI |
|---------|-------|---|--------|----|----|----|--------|----|--------|--------|
| 0       | Z     | 1 | 4,668  | 0  | 0  | 0  | 0,678  | 0  | 4,995  | 27     |
|         | X3    | 0 | 0,333  | 0  | 1  | 0  | -0,167 | 0  | 0      | 0,5    |
|         | X2    | 0 | -0,444 | 1  | 0  | 0  | 0,222  | 0  | -0,333 | 1      |

## **BAB III**

### **METODOLOGI**

#### **3.1 Uraian Umum**

*Underpass* Mayjen Sungkono direncanakan memiliki panjang 650 m, lebar total 17 m dan kedalaman 6 m. Dalam proses pelaksanaannya tergantung pada penggunaan alat berat yang tepat. Salah satu pekerjaan yang membutuhkan alat berat adalah pekerjaan tanah.

#### **3.2 Tahapan Penelitian**

Tahapan penelitian yang digunakan dalam pembahasan permasalahan Tugas Akhir ini sebagai berikut:

##### **1. Latar Belakang**

Sebelum mengerjakan Tugas Akhir ini, harus memahami permasalahan yang akan dibahas dalam Tugas Akhir ini. Hal ini berguna agar, hasil dari Tugas Akhir ini tidak menyimpang dengan permasalahan yang ingin dibahas.

##### **2. Perumusan Masalah**

Dalam tahap ini, perumusan masalah dilakukan setelah menentukan ide atau gagasan yang akan dibahas pada tugas akhir. Kemudian ditetapkan tujuan-tujuan yang harus dicapai agar permasalahan yang ada dapat terselesaikan. Untuk mempermudah pembahasan dan agar tidak menyimpang terlalu jauh, diberikan suatu batasan dimana di dalamnya memuat hal-hal yang dikerjakan dan hal-hal yang tidak dikerjakan.

##### **3. Pengumpulan data**

Pengumpulan data dilakukan dengan cara mengambil data. Untuk cara atau metode perhitungan kesesuaian jumlah alat berat digunakan referensi - referensi yang relevan sesuai dengan item pekerjaan yang akan dilakukan.

- a. Data Primer adalah data yang diperoleh secara langsung, dalam penelitian ini data primer diperoleh dari survey lokasi proyek *Underpass* Mayjen Sungkono Surabaya.
- b. Data Sekunder adalah data yang diperoleh secara tidak langsung. Dimana data – data yang digunakan diperoleh dari kontraktor pembangunan proyek *Underpass* Mayjen Sungkono Surabaya.. Data sekunder yang dipakai dalam penelitian ini yaitu :
  1. Spesifikasi teknis proyek pembangunan *Underpass* Mayjen Sungkono Surabaya
  2. *Detail Engineering Desain* proyek pembangunan *underpass* Mayjen Sungkono Surabaya
  3. Metode Pelaksanaan proyek pembangunan *underpass* Mayjen Sungkono Surabaya
  4. Brosur alat berat

#### 4. Analisa data

Dalam menganalisa persamaan program linier metode simpleks, perhitungan dapat dilakukan dengan menggunakan program bantu. Program ini dapat menyelesaikan persoalan optimasi dengan menggunakan metode simpleks. Analisa dilakukan dengan membuat persamaan program linier yang berupa fungsi kendala dan fungsi tujuan kedalam tabel. Kemudian dilakukan proses iterasi dengan menggunakan program bantu analisa manajemen. Dari hasil analisa akan didapatkan solusi terbaik dari permasalahan yang telah dibentuk.



## 5. Analisa Metode Pekerjaan

Persamaan program linier yang dibentuk berdasarkan formulasi permasalahan tersebut antara lain :

### 1. Variabel keputusan

Variabel keputusan yang dibentuk adalah  $X_i$  yaitu jumlah biaya per jam yang dikeluarkan alat berat dari jumlah alat berat yang digunakan.

### 2. Fungsi Tujuan

Fungsi tujuan yang dibentuk yaitu mengetahui biaya minimal yang dikeluarkan untuk suatu pekerjaan.

Persamaan yang dibentuk pada fungsi tujuan dapat dilihat pada rumus berikut ini:

Minimumkan :

$$Z = \sum C_i \cdot X_i$$

Dimana :

$Z$  = biaya penggunaan alat berat (Rp)

$C_i$  = biaya penjumlahan harga sewa alat berat, biaya operator, biaya bahan bakar perjam (Rp/jam)

$X_i$  = jam operasional pemakaian alat berat tipe I (jam)

### 3. Fungsi Kendala

Kendala yang harus diperhitungan adalah :

#### a. Kendala biaya

Kendala waktu sewa alat didapat dari masing-masing alat berat dan biaya maksimal per jam yang dikeluarkan kontraktor atau sama dengan  $T_s$  jam. Berikut bentuk pertidaksamaan kendala biaya yang dapat dilihat pada berikut ini:

$$X_i \leq T_s$$

Dimana :

$X_i$  = biaya operasional alat berat tipe i per jam (Rp)

$T_s$  = biaya maksimal per jam yang dikeluarkan oleh Kontraktor (Rp)

b. Kendala waktu

Kendala waktu didapat dari lama waktu penggunaan masing-masing alat berat dibatasi oleh waktu maksimum untuk menyelesaikan suatu pekerjaan berdasarkan jadwal pelaksanaan pekerjaan proyek. Pertidaksamaan dari kendala waktu penyelesaian pekerjaan galian dapat dilihat pada rumus berikut ini.

$$T_i X_i \geq T_p$$

Dimana :

$X_i$  = alat berat tipe i

$T_i$  = lama waktu penyelesaian pekerjaan alat (jam)

$T_p$  = lama waktu yang ditentukan oleh proyek (jam)

c. Kendala Jumlah Alat

Kendala jumlah alat ditentukan penulis melalui wawancara dengan kontraktor berdasarkan kondisi lapangan. Dari hasil observasi ke lapangan, jumlah alat berat yang bisa tersedia adalah 2. Berikut bentuk pertidaksamaan dapat dilihat pada rumus berikut ini:

$$X_i \leq 2$$

Dimana :

$X_i$  = Alat berat yang dihitung (buah)

2 = Jumlah maksimal alat yang bisa tersedia (buah)

d. Kendala Produksi Alat

Kendala produksi alat didapat dari perhitungan produktivitas alat berat dan dibatasi oleh target produktivitas dari proyek yang disesuaikan dengan lama waktu pelaksanaan. Berikut bentuk pertidaksamaan kendala produksi alat dapat dilihat pada rumus berikut ini :

$$p_i X_i \geq P_w$$

Dimana :

$p_i$  = produktivitas alat berat tipe  $i$  ( $m^3/jam$ )

$X_i$  = alat berat tipe  $i$

$P_w$  = target produktivitas yang harus dicapai alat berat ( $m^3/jam$ )

## 6. Meghitung Produktivitas Alat Berat

Yang dimaksud produktivitas atau kapasitas alat adalah besarnya keluaran (output) volume pekerjaan tertentu yang dihasilkan alat per-satuan waktu. Untuk memperkirakan produktivitas alat diperlukan faktor standart kinerja alat yang diberikan oleh pabrik pembuat alat, faktor efisiensi alat, operator, kondisi lapangan dan material. Cara perhitungan taksiran produktivitas alat pun beraneka ragam tergantung fungsi dan kegunaan alat tersebut. Walaupun demikian, mempunyai dasar perhitungan yang sama, yaitu :

$$Q = q \times N \times E_k$$

Di mana :

$Q$  =Produksi per satuan waktu

$q$  =Kapasitas produksi alat persatuan waktu

$N$  = Jumlah siklus per jam  
= (60/ $W_s$ )

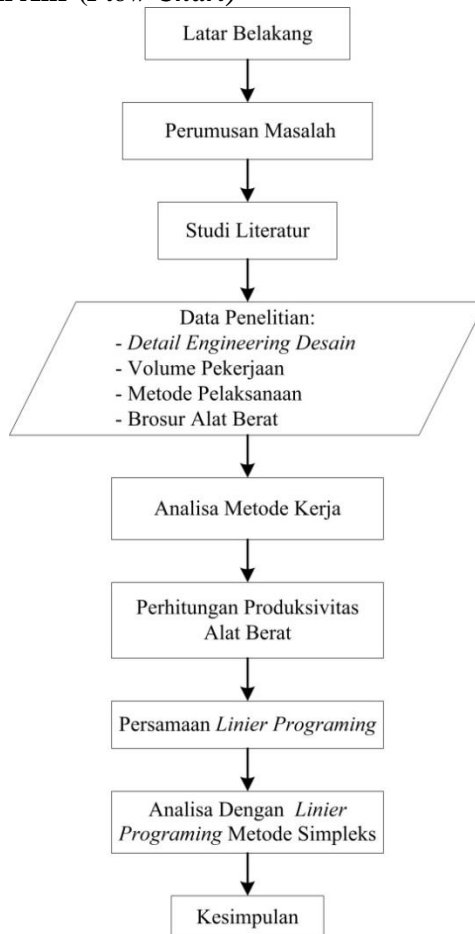
$W_s$  = Waktu siklus

$E_k$  = Efisiensi kerja

## 7. Kesimpulan

Pada bagian ini berisi mengenai kesimpulan dari hasil optimasi biaya penggunaan alat berat pada proyek pembangunan *Underpass* Mayjen Sungkono Surabaya.

### 3.3 Diagram Alir (*Flow Chart*)



**Gambar 3.1** Diagram Alir Metodologi

## ANALISA DATA

|                          |   |
|--------------------------|---|
| Kontraktor               | : PT. Pembangunan Perumahan<br>(persero) Tbk. |
| Konsultan                | : CV. Mitra Cipta Engineering                 |
| Panjang Underpass        | : 650 m                                       |
| Lebar Underpass          | : 17 m  |
| Kedalaman Underpass      | : - 6 m dari MTA                              |
| Biaya Pekerjaan Galian   | : Rp. 356.836.655                             |
| Biaya Pekerjaan Timbunan | : Rp. 462.293.564                             |
| Lama Pekerjaan Galian    | : 52 hari                                     |
| Lama pekerjaan Timbunan  | : 26 hari                                     |

## 4.2 Data Teknis Proyek

Proyek underpass memiliki panjang mencapai  $\pm 650$  m, lebar total  $\pm 17$  m dan dengan kedalaman -6 m dari MTA. Pada pekerjaan awal yang dilakukan adalah pekerjaan dinding penahan tanah dari *borepile*, yaitu dengan pembuatan *secondary pile* kemudia dilanjutkan oleh *primary pile*, kemudian dilanjutkan ke pekerjaan galian tanah, pada pekerjaan galian tanah dilakukan per lapis, tiap lapisnya digali sampai -2 m dan dilanjutkan sampai -6m dari MTA. Setelah dilakukan pekerjaan galian maka dilakukan pekerjaan pemasangan *geotextile* UW 250 pada lokasi bekas galian. Setelah pekerjaan *geotextile* selesai dilakukan, maka pekerjaan berikutnya adalah pekerjaan timbunan tanah. Pada pekerjaan timbunan tanah ada 3 jenis pekerjaan yaitu, penghamparan tanah, perataan tanah dan pemadatan tanah. Pada pekerjaan ini juga kita memerlukan 3 jenis alat berat yang berbeda. Setelah pekerjaan tanah slesai maka masuk ke pekerjaan struktur dan perkerasan jalan. Pada penulisan tugas akhir ini hanya dilakukan pada pekerjaan tanah (galian dan timbunan) saja.

#### 4.3. Pembuatan Permodelan Matematis

Pada proyek ini, pada pekerjaan tanah khususnya galian, timbunan dan pemadatan, alat berat yang digunakan dipilih berdasarkan kebutuhan dan lokasi proyek. tiap alat berat memiliki kapasitas dan dengan tipe yang berbeda. berikut ini adalah jenis dan tipe alat berat yang kan digunakan yaitu :

1. *Excavator* dengan spesifikasi alat berdasarkan brosur yang didapat penulis dari perusahaan persewaan alat berat sebagai berikut :

- a. Tipe : PC 200-8
- b. *Horse power* : 138
- c. Kapasitas *Bucket* :  $0,93 \text{ m}^3$
- d. Panjang alat : 9,425 m
- e. Lebar alat : 3 m
- f. Tinggi alat : 3,04 m

Pemilihan alat berat ini didapatkan berdasarkan perhitungan sebelumnya oleh penulis, sehingga alat berat tipe PC 200-8 adalah alat berat dengan biaya sewa termurah dan bisa digunakan dilapangan.

2. *Bulldozer* dengan spesifikasi alat berdasarkan brosur yang didapat penulis dari perusahaan persewaan alat berat sebagai berikut :

- a. Tipe : D65-PX
- b. *Horse power* : 205
- c. Kapasitas *blade* :  $3,69 \text{ m}^3$
- d. Kecepatan maju : 25 km/jam
- e. Kecepatan mundur : 37 km/jam
- f. Panjang alat : 5,79 m
- g. Lebar alat : 2,32 m
- h. Tinggi alat : 3,37 m

Pemilihan alat berat ini didapatkan berdasarkan perhitungan sebelumnya oleh penulis, sehingga alat berat tipe D65-PX adalah alat berat dengan biaya sewa termurah dan bisa digunakan dilapangan.

3. *Motor Grader* dengan spesifikasi alat berdasarkan brosur yang didapat penulis dari perusahaan persewaan alat berat sebagai berikut :

- a. Tipe : GD535-5
- b. *Horse power* : 145
- c. Lebar *blade* : 3,71
- d. Kecepatan : 40 km/jam
- e. Panjang alat : 8,54
- f. Lebar alat : 2,42
- g. Tinggi alat : 3,15

Pemilihan alat berat ini didapatkan berdasarkan perhitungan sebelumnya oleh penulis, sehingga alat berat tipe GD535-5 adalah alat berat dengan biaya sewa termurah dan bisa digunakan dilapangan.

4. *Vibration Roller SV 525-D* dengan spesifikasi alat berdasarkan brosur yang didapat penulis dari perusahaan persewaan alat berat sebagai berikut :

- a. Tipe : SV 525-D
- b. *Horse power* : 112
- c. Berat alat : 10,1 ton
- d. Lebar pemadatan : 2,13
- e. Kecepatan : 30 km/jam
- f. Panjang alat : 5,84
- g. Lebar alat : 2,295
- h. Tinggi alat : 2,91



Pemilihan alat berat ini didapatkan berdasarkan perhitungan sebelumnya oleh penulis, sehingga alat berat tipe SV 525-D adalah alat berat dengan biaya sewa termurah dan bisa digunakan dilapangan.

Selanjutnya dijadikan variable dalam persoalan ini sebagai berikut :

- $X_1$  = Jumlah *Excavator*
- $X_2$  = Jumlah *Bulldozer*
- $X_3$  = Jumlah *Motor Grader*
- $X_4$  = Jumlah *Vibration Roller*

#### 4.4. Penentuan Tujuan

Pada persoalan ini fungsi tujuan dari analisa ini adalah meminimkuan biaya yang dikeluarkan untuk menyewa dan pengeluaran biaya operasional. Karena pengadaan alat beratnya dengan cara menyewa alat berat, suatu perusahaan jasa konstruksi dapat memenuhi kebutuhannya tanpa melibatkan diri dengan biaya pemilikan jangka panjang. Jangka waktu sewa dan beban pembayaran biasanya berdasarkan perjanjian harian, mingguan atau bukanan. Selain beban sewa, penyewa yang menggunakan alat biasanya juga membayar untuk :

1. Biaya angkut untuk mendatangkan alat
2. Biaya sewa operator
3. Biaya bahan bakar

Untuk biaya perawatan dan spare part dibayar oleh pemilik peralatan kecuali kerusakan tersebut disebabkan oleh pengoprasian yang tidak benar oleh pemakai alat.

Biaya yang dihitung berikut ini merupakan koefisien dari variabel yang ada dan merupakan biaya yang dikeluarkan untuk menyewa dan mengoperasikan alat berat, yaitu :

1. *Excavator* sebagai variabel  $X_1$ 

Biaya yang akan dikeluarkan untuk menyewa dan mengoperasikan *Excavator* yaitu :

$$\begin{aligned}
 \text{Biaya sewa alat} &= \text{Rp. } 231.000 / \text{jam} \\
 \text{Biaya operator} &= \text{Rp. } 150.000 / \text{hari} \\
 \text{Lama jam kerja 1 hari} &= 8 \text{ jam} \\
 \text{Biaya operator/jam} &= \frac{\text{Rp. } 150.000}{8 \text{ jam}} \\
 &= \text{Rp. } 18.750 / \text{jam} \\
 \text{Biaya bahan bakar} &= 0,7 \times 0,2 (\text{solar}) \times h \times \text{PK} \\
 \text{Harga 1 liter solar (h)} &= \text{Rp. } 7.600 \\
 \text{Horse Power (PK)} &= 138 \\
 \text{Biaya bahan bakar/jam} &= \text{Rp. } 146.832 / \text{jam} \\
 \text{Biaya total} &= \text{sewa alat} + \text{operator} + \text{bahan Bakar} \\
 &= \text{Rp. } 395.582,00 / \text{jam}
 \end{aligned}$$

2. *Bulldozer* sebagai variabel  $X_2$ 

Biaya yang akan dikeluarkan untuk menyewa dan mengoperasikan *Bulldozer* yaitu :

$$\begin{aligned}
 \text{Biaya sewa alat} &= \text{Rp. } 210.000 / \text{jam} \\
 \text{Biaya operator} &= \text{Rp. } 150.000 / \text{hari} \\
 \text{Lama jam kerja 1 hari} &= 8 \text{ jam} \\
 \text{Biaya operator/jam} &= \frac{\text{Rp. } 150.000}{8 \text{ jam}} \\
 &= \text{Rp. } 18.750 / \text{jam} \\
 \text{Biaya bahan bakar} &= 0,7 \times 0,2 (\text{solar}) \times h \times \text{PK} \\
 \text{Harga 1 liter solar (h)} &= \text{Rp. } 7.600 \\
 \text{Horse Power (PK)} &= 205 \\
 \text{Biaya bahan bakar/jam} &= \text{Rp. } 218.120 / \text{jam} \\
 \text{Biaya total} &= \text{sewa alat} + \text{operator} + \text{bahan Bakar} \\
 &= \text{Rp. } 446.870,00 / \text{jam}
 \end{aligned}$$

3. *Motor Grader* sebagai variabel  $X_3$

Biaya yang akan dikeluarkan untuk menyewa dan mengoperasikan *Motor Grader* yaitu :

Biaya sewa alat = Rp. 200.000 / jam

Biaya operator = Rp. 150.000 / hari

Lama jam kerja 1 hari = 8 jam

Biaya operator/jam =  $\frac{\text{Rp. 150.000}}{8 \text{ jam}}$

= Rp. 18.750 / jam

Biaya bahan bakar =  $0,7 \times 0,2 \text{ (solar)} \times h \times \text{PK}$

Harga 1 liter solar (h) = Rp. 7.600

*Horse Power* (PK) = 145

Biaya bahan bakar/jam = Rp. 154.280 / jam

Biaya total = sewa alat + operator + bahan Bakar

= Rp. 373.030,00 / jam

4. *Vibration Roller* sebagai variabel  $X_4$

Biaya yang akan dikeluarkan untuk menyewa dan mengoperasikan *Vibration Roller* yaitu :

Biaya sewa alat = Rp. 140.000 / jam

Biaya operator = Rp. 150.000 / hari

Lama jam kerja 1 hari = 8 jam

Biaya operator/jam =  $\frac{\text{Rp. 150.000}}{8 \text{ jam}}$

= Rp. 18.750 / jam

Biaya bahan bakar =  $0,7 \times 0,2 \text{ (solar)} \times h \times \text{PK}$

Harga 1 liter solar (h) = Rp. 7.600

*Horse Power* (PK) = 112

Biaya bahan bakar/jam = Rp. 119.168 / jam

Biaya total = sewa alat + operator + bahan Bakar

= Rp. 277.918,00 / jam

Dari perhitungan diatas maka persamaan tujuannya adalah meminimumkan biaya

$$Z = 395.582X_1 + \text{Rp. } 446.870X_2 + 373.030X_3 + 277.918X_4$$

#### 4.5. Penentuan Pembatas

##### 4.5.1. Pembatas Biaya

Pada kendala biaya, penentuan koefisiennya untuk masing-masing alat berat sama dengan penentuan koefisien tujuan pada sub bab 4.4, sebagai berikut :

###### 1. *Excavator* sebagai variabel $X_1$

Biaya yang akan dikeluarkan untuk menyewa dan mengoperasikan *Excavator* yaitu :

|                         |  |
|-------------------------|--|
| Biaya sewa alat         | = Rp. 231.000 / jam  |
| Biaya operator          | = Rp. 150.000 / hari   |
| Lama jam kerja 1 hari   | = 8 jam  |
| Biaya operator/jam      | = $\frac{\text{Rp. } 150.000}{8 \text{ jam}}$                |
|                         | = Rp. 18.750 / jam   |
| Biaya bahan bakar       | = $0,7 \times 0,2 \text{ (solar)} \times h \times \text{PK}$ |
| Harga 1 liter solar (h) | = Rp. 7.600  |
| <i>Horse Power</i> (PK) | = 138  |
| Biaya bahan bakar/jam   | = Rp. 146.832 / jam  |
| Biaya total             | = sewa alat + operator + bahan Bakar                         |
|                         | = Rp. 395.582,00 / jam                                       |

###### 2. *Bulldozer* sebagai variabel $X_2$

Biaya yang akan dikeluarkan untuk menyewa dan mengoperasikan *Bulldozer* yaitu :

|                       |                      |
|-----------------------|----------------------|
| Biaya sewa alat       | = Rp. 210.000 / jam  |
| Biaya operator        | = Rp. 150.000 / hari |
| Lama jam kerja 1 hari | = 8 jam              |

$$\begin{aligned}
 \text{Biaya operator/jam} &= \frac{\text{Rp. 150.000}}{8 \text{ jam}} \\
 &= \text{Rp. 18.750 / jam} \\
 \text{Biaya bahan bakar} &= 0,7 \times 0,2 (\text{solar}) \times h \times \text{PK} \\
 \text{Harga 1 liter solar (h)} &= \text{Rp. 7.600} \\
 \text{Horse Power (PK)} &= 205 \\
 \text{Biaya bahan bakar/jam} &= \text{Rp. 218.120 / jam} \\
 \text{Biaya total} &= \text{sewa alat} + \text{operator} + \text{bahan Bakar} \\
 &= \text{Rp. 446.870,00 / jam}
 \end{aligned}$$

3. *Motor Grader* sebagai variabel  $X_3$

Biaya yang akan dikeluarkan untuk menyewa dan mengoperasikan *Motor Grader* yaitu :

$$\begin{aligned}
 \text{Biaya sewa alat} &= \text{Rp. 200.000 / jam} \\
 \text{Biaya operator} &= \text{Rp. 150.000 / hari} \\
 \text{Lama jam kerja 1 hari} &= 8 \text{ jam} \\
 \text{Biaya operator/jam} &= \frac{\text{Rp. 150.000}}{8 \text{ jam}} \\
 &= \text{Rp. 18.750 / jam} \\
 \text{Biaya bahan bakar} &= 0,7 \times 0,2 (\text{solar}) \times h \times \text{PK} \\
 \text{Harga 1 liter solar (h)} &= \text{Rp. 7.600} \\
 \text{Horse Power (PK)} &= 145 \\
 \text{Biaya bahan bakar/jam} &= \text{Rp. 154.280 / jam} \\
 \text{Biaya total} &= \text{sewa alat} + \text{operator} + \text{bahan Bakar} \\
 &= \text{Rp. 373.030,00 / jam}
 \end{aligned}$$

4. *Vibration Roller* sebagai variabel  $X_4$

Biaya yang akan dikeluarkan untuk menyewa dan mengoperasikan *Vibration Roller* yaitu :

$$\begin{aligned}
 \text{Biaya sewa alat} &= \text{Rp. 140.000 / jam} \\
 \text{Biaya operator} &= \text{Rp. 150.000 / hari} \\
 \text{Lama jam kerja 1 hari} &= 8 \text{ jam}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Biaya operator/jam} &= \frac{\text{Rp. 150.000}}{8 \text{ jam}} \\
 &= \text{Rp. 18.750 / jam} \\
 \text{Biaya bahan bakar} &= 0,7 \times 0,2 (\text{solar}) \times h \times \text{PK} \\
 \text{Harga 1 liter solar (h)} &= \text{Rp. 7.600} \\
 \text{Horse Power (PK)} &= 112 \\
 \text{Biaya bahan bakar/jam} &= \text{Rp. 119.168 / jam} \\
 \text{Biaya total} &= \text{sewa alat} + \text{operator} + \text{bahan Bakar} \\
 &= \text{Rp. 277.918,00 / jam}
 \end{aligned}$$

1. Biaya maksimal yang dikeluarkan

Biaya ini diambil dari rencana anggaran biaya untuk pekerjaan galian dan timbunan, dan tidak termasuk biaya material tanah, dan upah pekerja

Jadi biaya yang dikeluarkan untuk pekerjaan galian tanah perjamnya adalah :

$$\begin{aligned}
 &= \frac{\text{biaya}}{\text{waktu}} \\
 &= \frac{356.836.655}{416} \\
 &= \text{Rp. 857.780/ jam}
 \end{aligned}$$

dan biaya yang dikeluarkan untuk pekerjaan timbunan dan pemadatan tanah perjamnya adalah :

$$\begin{aligned}
 &= \frac{\text{biaya}}{\text{waktu}} \\
 &= \frac{462.293.564}{208} \\
 &= \text{Rp. 2.222.000/ jam}
 \end{aligned}$$

Dari perhitungan koefisien diatas maka persamaan kendala biayanya adalah :

- Galian :  
 $395.582X_1 \leq 857.780$
- Timbunan :  
 $\text{Rp. } 446.870X_2 + 373.030X_3 + 277.918X_4 \leq 2.222.000$

#### 4.5.2. Pembatas Waktu

Pada kendala waktu, untuk mendapatkan waktu yang dibutuhkan alat berat untuk dapat menyelesaikan pekerjaan maka dihitung terlebih dahulu produksi dan masing-masing alat berat. Perhitungan produktivitas alat berat adalah sebagai berikut :

1. *Excavator* sebagai variabel  $X_1$

Produktivitas per jam suatu *excavator* dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$Q = \frac{q \times 60 \times E}{C_m} \text{ m}^3/\text{jam}$$

Dimana :

$Q$  = Produksi per siklus ( $\text{m}^3$ )

$q$  =  $KB \times BF$

$KB$  = Kapasitas *Bucket*

$BF$  = *Bucket Factor*

$E$  = Faktor efisiensi kerja

$C_m$  = Waktu siklus (menit)

= waktu gali + (waktu putar x 2) + waktu buang

Produksi per siklus ( $q$ )

$q = KB \times BF$

Keterangan :

$KB$  : Kapasitas *Bucket* =  $0.93 \text{ m}^3$

$BF$  : *Bucket Factor* =  $0.8$  (tabel 2.5)

Jadi produksi per siklus :

$q = 0.80 \times 0.93$

=  $0.74 \text{ m}^3$

Waktu siklus ( $C_m$ )

Waktu gali = 13 detik (tabel 2.6)

Waktu putar = 8 detik (tabel 2.7)

Waktu buang = 7 detik (hasil survey)

Jadi waktu siklus

$$\begin{aligned} C_m &= 13 + 8 + 7 \\ &= 28 \text{ detik} \\ &= 0.467 \text{ menit} \end{aligned}$$

Efisiensi kerja (E)

$$E = 0.75 \text{ (tabel 2.11)}$$

Jadi produksi *excavator* per jam adalah :

$$\begin{aligned} Q &= \frac{q \times 60 \times E}{C_m} \\ &= \frac{0.74 \times 60 \times 0.65}{0.467} \\ &= 67,26 \text{ m}^3/\text{jam} \end{aligned}$$

Volume pekerjaan galian tanah berdasarkan gambar adalah 45,665.25 m<sup>3</sup>

Jadi waktu yang diperlukan *Excavator* untuk menyelesaikan pekerjaan :

$$= \frac{\text{Volume Pekerjaan}}{\text{Produksi.X1}} = \frac{45.665,25 \text{ m}^3}{67,26 \cdot X1} = \frac{678,94}{X1} \text{ jam}$$

## 2. *Bulldozer* sebagai variabel X<sub>2</sub>

Produktivitas per jam suatu *Bulldozer* dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$Q = \frac{KB \times 60 \times FK}{\left(\frac{J}{F}\right) + \left(\frac{J}{F}\right) + Z} \text{ m}^3/\text{jam}$$

Dimana :

TP = Taksiran produksi (m<sup>3</sup>/jam)

KB = Kapasitas *blade* (m<sup>3</sup>)

FK = Faktor koreksi

J = Jarak dorong (m)

F = Kecepatan maju (m/menit)



R = Kecepatan mundur (m/menit)

Z = Waktu tetap (menit)

Produktivitas per jam suatu *bulldozer* dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

Kb = Kapasitas *blade*

FK :

Faktor efisiensi waktu, kondisi kerja baik = 0,85  
(tabel 2.10)

Faktor efisiensi kerja, kondisi medan dan alat bagus = 0,75  
(tabel 2.11)

Faktor efisiensi operator, keterampilan normal = 0,8  
(tabel 2.12)

Faktor blade, kondisi *dozing* sedang = 0,8 (tabel 2.8)

Sehingga FK =  $0,85 \times 0,75 \times 0,8 \times 0,8$   
= 0,408

(J) = Jarak dorong = ditetapkan 40 m, karena jarak dorong yang efisien antara 25-40m

(F) = Kec. maju = 2,5 km/jam = 41,67 m/menit

(R) = Kec. mundur = 3,7 km/jam = 61,67 m/menit

(Z) = Waktu tetap pindah perseneling = 0,05 menit

Maka produksi *Bulldozer* per jam :

$$\begin{aligned}
 Q &= \frac{KB \times 60 \times FK}{\left(\frac{J}{F}\right) + \left(\frac{J}{R}\right) + Z} \\
 &= \frac{3,69 \times 60 \times 0,408}{(40/41,67) + (40/61,67) + 0,05} \\
 &= 54,46 \text{ m}^3/\text{jam}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Volume pekerjaan} &= 12,467 \text{ m}^3 \text{ dalam keadaan padat} \\
 &= \text{CCM} \times \text{faktor konversi} \\
 &= 12,467 \times 1,39 \\
 &= 17.329 \text{ m}^3 \text{ (loose)}
 \end{aligned}$$

Jadi waktu yang diperlukan bulldozer untuk menyelesaikan pekerjaan :

$$= \frac{\text{Volume Pekerjaan}}{\text{Produksi} \times X_2} = \frac{17.329 \text{ m}^3}{54,46 \times X_2} = \frac{318,2}{X_2} \text{ jam}$$

3. *Motor Grader* sebagai variabel  $X_3$

Produktivitas per jam suatu *motor grader* dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$Q = \frac{(J \times ((Le - Lo) + Lo) \times H \times E \times 60)}{(n \times T_3)} \text{ m}^3/\text{jam}$$

Dimana :

V = kecepatan kerja (m/jam)

Le = lebar blade efektif (m)

Lo = lebar overlap (m)

E = efisiensi kerja

W = lebar hamparan

J = jarak antar STA

H = tebal lapisan yang dikerjakan (m)

n = jumlah lintasan ( $n = W/(Le - Lo)$ )

T1 = waktu perataan 1 lintasan

T2 = waktu *unloading*

T3 = cycle time

Q = produksi per-jam ( $\text{m}^3/\text{jam}$ )

Perhitungan *motor grader* dengan asumsi sebagai berikut :

V = 4000 m/jam = 66,67 m/menit

$$Le = 3,71 \text{ m}$$

$$Lo = 0,3 \text{ m}$$

$$E = 0,75 \text{ (tabel 2.11)}$$

$$W = 17 \text{ m}$$

$$J = 50 \text{ m}$$

$$H = 0,3 \text{ m}$$

$$n = 5 \text{ lintasan}$$

$$T1 = \text{perataan 1 lintasan} = (J \times 60 / V)$$

$$= (50 \times 60 / 66,67) = 0,75 \text{ menit}$$

$$T2 = \text{Unloading} = 1 \text{ menit (hasil survey)}$$

$$T3 = (T1 + T2) = 1,75 \text{ menit}$$

Maka produksi motor grader per jam :

$$Q = \frac{(50 \times ((3,71 - 0,3) + 0,3) \times 0,3 \times 0,75 \times 60)}{(5 \times 1,75)} \text{ m}^3/\text{jam}$$

$$= 263,06 \text{ m}^3/\text{jam}$$

Luas area yang akan ditimbun dan dipadatkan untuk 1 (satu) kali pemadatan adalah :

$$\begin{aligned} \text{Luas yang ditimbun} &= \text{tebal lapisan} \times \text{panjang lokasi} \times \\ &\quad \text{lebar lokasi} \\ &= 0,3 \text{ m} \times 650 \text{ m} \times 17 \text{ m} \\ &= 3.315 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Berdasarkan spesifikasi pekerjaan tinggi pemadatan tidak boleh lebih dari 30 cm

Ketinggian timbunan rata-rata yang didapatkan dari gambar proyek = 115 cm

$$\text{Jumlah lapisan pemadatan} = \frac{115}{30} = 3,8 = 4 \text{ lapisan}$$

Luas area yang dikerjakan oleh *motor grader* adalah :

$$= 4 \times 3.315 = 13.260 \text{ m}^3$$

Jadi waktu yang dibutuhkan *motor grader* untuk menyelesaikan pekerjaan :

$$= \frac{\text{Volume Pekerjaan}}{\text{Produksi.X3}} = \frac{13.260 \text{ m}^3}{263,06 \cdot X3} = \frac{50,4}{X3} \text{ jam}$$

4. *Vibration Roller* sebagai variabel  $X_4$

Produktivitas per jam suatu *Vibration Roller* dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$Q = \frac{(V \times ((Le - Lo) + Lo) \times H \times E)}{n} \text{ (m}^3/\text{jam)}$$

Dimana :

V = kecepatan kerja (m/jam)

Le = lebar *blade* efektif (m)

Lo = lebar overlap (m)

E = efisiensi kerja

W = lebar pemadatan

H = tebal lapisan yang dikerjakan (m)

n = jumlah lintasan ( $n = W/(Le - Lo)$ )

Produktivitas per jam suatu *Vibration roller* dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

V = 2000 m/jam = 33,33 m/menit

Le = 2,13 m

Lo = 0,2 m

E = 0,75 (tabel 2.11)

W = 17 m

H = 0,3 m

n = 9 lintasan

Maka produktivitas *vibration roller* per jam :

$$Q = \frac{(2000 \times ((2,13 - 0,2) + 0,2) \times 0,3 \times 0,75)}{9}$$

$$= 106,5 \text{ m}^3/\text{jam (compacted)}$$

Jadi waktu yang dibutuhkan *vibration roller* untuk menyelesaikan pekerjaan :

$$= \frac{\text{Volume Pekerjaan}}{\text{Produksi} \cdot X_4} = \frac{17.329 \text{ m}^3}{106,5 \cdot X_4} = \frac{162,7}{X_4} \text{ jam}$$

Dari perhitungan diatas, maka persamaan untuk kendala waktu adalah :

$$\begin{aligned} \text{a. } &= \frac{678,9}{X_1} \leq 416 &&= 416 X_1 \geq 678,9 \\ \text{b. } &= \frac{318,2}{X_2} \leq 208 &&= 208 X_2 \geq 318,2 \\ \text{c. } &= \frac{50,4}{X_3} \leq 208 &&= 208 X_3 \geq 50,4 \\ \text{d. } &= \frac{162,7}{X_4} \leq 208 &&= 208 X_4 \geq 162,7 \end{aligned}$$

#### 4.5.3. Pembatas Jumlah Alat Berat

Pada kendala jumlah alat berat yang tersedia, untuk mendapatkan jumlah alat berat yang tersedia untuk dapat menyelesaikan pekerjaan yang disesuaikan oleh kondisi lapangan di proyek, Perhitungan koefisien masing-masing alat berat adalah sebagai berikut :

1. *Excavator* sebagai variabel  $X_1$   
Jumlah *Excavator* yang bisa tersedia dilapangan sebanyak 2 buah
2. *Bulldozer* sebagai variabel  $X_2$   
Jumlah *Bulldozer* yang bisa tersedia dilapangan sebanyak 2 buah
3. *Motor Grader* sebagai variabel  $X_3$

Jumlah *Motor Grader* yang bisa tersedia dilapangan sebanyak 2 buah

4. *Vibration Roller* sebagai variabel  $X_4$

Jumlah *Vibration Roller* yang bisa tersedia dilapangan sebanyak 2 buah

Berdasarkan koefisien diatas, maka persamaan kendala jumlah alat berat yang tersedia adalah :

- $X_1 \leq 2$
- $X_2 \leq 2$
- $X_3 \leq 2$
- $X_4 \leq 2$

#### 4.5.4. Pembatas Produksi Alat

Untuk mendapatkan kendala produksi alat berat, maka harus dihitung terlebih dahulu produksi dar masing-masing alat berat.

1. *Excavator* sebagai variabel  $X_1$

Produktivitas per jam suatu *excavator* dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$Q = \frac{q \times 60 \times E}{C_m} \text{ m}^3/\text{jam}$$

Dimana :

$Q$  = Produksi per siklus ( $\text{m}^3$ )

$q$  =  $KB \times BF$

$KB$  = Kapasitas *Bucket*

$BF$  = *Bucket Factor*

$E$  = Faktor efisiensi kerja

$C_m$  = Waktu siklus (menit)

= waktu gali + (waktu putar  $\times 2$ ) + waktu buang

Produksi per siklus ( $q$ )

$q = KB \times BF$

Keterangan :

KB : Kapasitas Bucket =  $0.93 \text{ m}^3$

BF : Bucket Factor =  $0.8$  (tabel 2.5)

Jadi produksi per siklus :

$$\begin{aligned} q &= 0.80 \times 0.93 \\ &= 0.74 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Waktu siklus (Cm)

Waktu gali =  $13$  detik (tabel 2.6)

Waktu putar =  $8$  detik (tabel 2.7)

Waktu buang =  $7$  detik (hasil survey)

Jadi waktu siklus

$$\begin{aligned} \text{Cm} &= 13 + 8 + 7 \\ &= 28 \text{ detik} \\ &= 0.467 \text{ menit} \end{aligned}$$

Efisiensi kerja (E)

$$E = 0.75 \text{ (tabel 2.11)}$$

Jadi produksi *excavator* per jam adalah :

$$\begin{aligned} Q &= \frac{q \times 60 \times E}{\text{Cm}} \\ &= \frac{0.74 \times 60 \times 0.65}{0.467} \\ &= 67.26 \text{ m}^3/\text{jam} \end{aligned}$$

Volume pekerjaan galian tanah berdasarkan gambar adalah  $46.665,25 \text{ m}^3$

Jadi produksi yang harus dicapai untuk menyelesaikan pekerjaan galian tanah adalah:

$$= \frac{\text{Volume Pekerjaan}}{\text{waktu pekerjaan}} = \frac{46.665,25}{416} = 109,77 \text{ m}^3/\text{jam}$$

## 2. *Bulldozer* sebagai variabel $X_2$

Produktivitas per jam suatu *Bulldozer* dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$Q = \frac{KB \times 60 \times FK}{\left(\frac{J}{F}\right) + \left(\frac{J}{R}\right) + Z} \text{ m}^3/\text{jam}$$

Dimana :

TP = Taksiran produksi ( $\text{m}^3/\text{jam}$ )

KB = Kapasitas *blade* ( $\text{m}^3$ )

FK = Faktor koreksi

J = Jarak dorong (m)

F = Kecepatan maju (m/menit)

R = Kecepatan mundur (m/menit)

Z = Waktu tetap (menit)

Produktivitas per jam suatu *bulldozer* dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

Kb = Kapasitas *blade*

FK :

Faktor efisiensi waktu, kondisi kerja baik = 0,85

(tabel 2.10)

Faktor efisiensi kerja, kondisi medan dan alat bagus = 0,75

(tabel 2.11)

Faktor efisiensi operator, keterampilan normal = 0,8

(tabel 2.12)

Faktor blade, kondisi dozing sedang = 0,8 (tabel 2.8)

$$\begin{aligned} \text{Sehingga FK} &= 0,85 \times 0,75 \times 0,8 \times 0,8 \\ &= 0,408 \end{aligned}$$

(J) = Jarak dorong = ditetapkan 40 m, karena jarak dorong yang efisien antara 25-40m

(F) = Kec. maju = 2,5 km/jam = 41,67 m/menit

(R) = Kec. mundur = 3,7 km/jam = 61,67 m/menit

(Z) = Waktu tetap pindah perseneling = 0,05 menit



Maka produksi *Bulldozer* per jam :

$$\begin{aligned}
 Q &= \frac{KB \times 60 \times FK}{\left(\frac{J}{F}\right) + \left(\frac{J}{F}\right) + Z} \\
 &= \frac{3,69 \times 60 \times 0,408}{(40/41,67) + (40/61,67) + 0,05} \\
 &= 54,46 \text{ m}^3/\text{jam}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Volume pekerjaan} &= 12,467 \text{ m}^3 \text{ dalam keadaan padat} \\
 &= \text{CCM} \times \text{faktor konversi} \\
 &= 12,467 \times 1,39 \\
 &= 17.329 \text{ m}^3 \text{ (loose)}
 \end{aligned}$$

Jadi waktu yang diperlukan *bulldozer* untuk menyelesaikan pekerjaan :

$$= \frac{\text{Volume Pekerjaan}}{\text{waktu pekerjaan}} = \frac{17.329}{208} = 83,32 \text{ m}^3/\text{jam}$$

3. *Motor Grader* sebagai variabel  $X_3$

Produktivitas per jam suatu motor grader dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$Q = \frac{(J \times ((Le - Lo) + Lo) \times H \times E \times 60)}{(n \times T3)} \text{ m}^3/\text{jam}$$

Dimana :

V = kecepatan kerja (m/jam)

Le = lebar blade efektif (m)

Lo = lebar overlap (m)

E = efisiensi kerja

W = lebar hamparan

J = jarak antar STA

H = tebal lapisan yang dikerjakan (m)

n = jumlah lintasan ( $n = W/(Le - Lo)$ )

T1 = waktu perataan 1 lintasan

T2 = waktu unloading

T3 = cycle time

Q = produksi per-jam ( $\text{m}^3/\text{jam}$ )

Perhitungan *motor grader* dengan asumsi sebagai berikut :

$$V = 4000 \text{ m/jam} = 66,67 \text{ m/menit}$$

$$Le = 3,71 \text{ m}$$

$$Lo = 0,3 \text{ m}$$

$$E = 0,75 \text{ (tabel 2.11)}$$

$$W = 17 \text{ m}$$

$$J = 50 \text{ m}$$

$$H = 0,3 \text{ m}$$

$$n = 5 \text{ lintasan}$$

$$T1 = \text{perataan 1 lntasan} = (J \times 60 / V)$$

$$= (50 \times 60 / 66,67) = 0,75 \text{ menit}$$

$$T2 = \text{Unloading} = 1 \text{ menit (hasil survey)}$$

$$T3 = (T1 + T2) = 1,75 \text{ menit}$$

Maka produksi *motor grader* per jam :

$$Q = \frac{(50 \times ((3,71 - 0,3) + 0,3) \times 0,3 \times 0,75 \times 60)}{(5 \times 1,75)} \text{ m}^3/\text{jam}$$

$$= 263,06 \text{ m}^3/\text{jam}$$

Luas area yang akan ditimbun dan dipadatkan untuk 1 (satu) kali pemadatan adalah :

$$\text{Luas yang ditimbun} = \text{tebal lapisan} \times \text{panjang lokasi} \times \text{lebar lokasi}$$

$$= 0,3 \text{ m} \times 650 \text{ m} \times 17 \text{ m}$$

$$= 3.315 \text{ m}^3$$

Berdasarkan spesifikasi pekerjaan tinggi pemadatan tidak boleh lebih dari 30 cm

Ketinggian timbunan rata-rata yang didapatkan dari gambar proyek = 115 cm

$$\text{Jumlah lapisan pemadatan} \frac{115}{30} = 3,8 = 4 \text{ lapisan}$$

Luas area yang dikerjakan oleh *motor grader* adalah :

$$= 4 \times 3.315 = 13.260 \text{ m}^3$$

Jadi waktu yang dibutuhkan motor grader untuk menyelesaikan pekerjaan :

$$= \frac{\text{Volume Pekerjaan}}{\text{waktu pekerjaan}} = \frac{13.260}{208} = 63,75 \text{ m}^3/\text{jam}$$

#### 4. *Vibration Roller* sebagai variabel $X_4$

Produktivitas per jam suatu *Vibration Roller* dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$Q = \frac{(V \times ((Le - Lo) + Lo) \times H \times E)}{n} \text{ (m}^3/\text{jam)}$$

Dimana :

V = kecepatan kerja (m/jam)

Le = lebar blade efektif (m)

Lo = lebar overlap (m)

E = efisiensi kerja

W = lebar pemadatan

H = tebal lapisan yang dikerjakan (m)

n = jumlah lintasan ( $n = W/(Le - Lo)$ )

Produktivitas per jam suatu *Vibration roller* dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$V = 2000 \text{ m/jam} = 33,33 \text{ m/menit}$$

$$Le = 2,13 \text{ m}$$

$$Lo = 0,2 \text{ m}$$

$$E = 0,75 \text{ (tabel 2.11)}$$

$$W = 17 \text{ m}$$

$$H = 0,3 \text{ m}$$

$$n = 9 \text{ lintasan}$$

Maka produktivitas vibration roller per jam :

$$Q = \frac{(2000 \times ((2,13 - 0,2) + 0,2) \times 0,3 \times 0,75)}{9}$$

$$= 106,5 \text{ m}^3/\text{jam (compacted)}$$

Jadi waktu yang dibutuhkan vibration roller untuk menyelesaikan pekerjaan :

$$= \frac{\text{Volume Pekerjaan}}{\text{waktu pekerjaan}} = \frac{17.329}{208} = 83,32 \text{ m}^3/\text{jam}$$

Dari perhitungan koefisien diatas, maka pertidaksamaan kendala waktunya adalah :

$$67,26 \quad X_1 \geq 109,77$$

$$54,46 \quad X_2 \geq 83,32$$

$$263,06 \quad X_3 \geq 63,75$$

$$106,5 \quad X_4 \geq 83,32$$

#### 4.6. Penentuan Solusi Optimum

Dari hasil pembuatan permodelan matematis, penentuan tujuan dan penentuan pembatas, persoalan ini dapat dibuat dalam bentuk :

Minimumkan :

$$Z = 395.582X_1 + 273.446X_2 + 373.030X_3 + 277.918X_4$$

Berdasarkan pembatas :

Pembatas biaya :

- Galian :

$$395.582X_1 \leq 857.780$$

- Timbunan :

$$273.446X_2 + 373.030X_3 + 277.918X_4 \leq 2.222.000$$

Pembatas waktu:

$$416 X_1 \geq 678,9$$

$$208 X_2 \geq 318,2$$

$$208 X_3 \geq 50,4$$

$$208 X_4 \geq 162,7$$

Pembatas jumlah alat yang tersedia :

$$X_1 \leq 2$$

$$X_2 \leq 2$$

$$X_3 \leq 2$$

$$X_4 \leq 2$$

Pembatas produksi alat

$$67,26 X_1 \geq 109,77$$

$$54,46 X_2 \geq 83,32$$

$$263,06 X_3 \geq 63,75$$

$$106,5 X_4 \geq 83,32$$

Dalam menyelesaikan masalah ini, digunakan metode simpleks dengan teknik 2 fase karena penulis menggunakan program bantu manajemen dalam menyelesaikan persoalan ini. Penulis tidak menggunakan teknik M karena dengan menggunakan konstanta M yang merupakan bilangan positif yang sangat besar sebagai penalty, maka bisa saja terjadi kesalahan perhitungan, terutama bila perhitungan ini dilakukan dengan menggunakan program bantu manajemen. Kesalahan itu terjadi karena koefisien berharga nol. Kesulitan ini dapat dikurangi dengan menggunakan teknik dua fase. Disini konstanta M dihilangkan dengan cara menyelesaikan persoalan dengan dua fase (dua tingkatan) sebagai berikut :

Minimumkan :

$$r = R_3 + R_4 + R_5 + R_6 + R_{11} + R_{12} + R_{13} + R_{14}$$

Terhadap kendala:

$$395.482X_1 + S_1 = 857.780$$

$$273.446X_2 + 373.030X_3 + 277.918X_4 + S_2 = 2.222.000$$

$$416 X_1 + S_3 + r_3 = 678,9$$

$$208 X_2 + S_4 + r_4 = 318,2$$

$$208 X_3 + S_5 + r_5 = 50,4$$

$$208 X_4 + S_6 + r_6 = 162,7$$

$$X_1 - S_7 = 2$$

$$X_2 - S_8 = 2$$

$$X_3 - S_9 = 2$$

$$X_4 - S_{10} = 2$$

$$67,26 X_1 - S_{11} + r_{11} = 109,77$$

$$54,46 X_2 - S_{12} + r_{12} = 83,32$$

$$263,06 X_3 - S_{13} + r_{13} = 63,75$$

$$106,5 X_4 - S_{14} + r_{14} = 83,32$$

Maka diperoleh persamaan :

$$r_3 = 678,9 - 416X_1 + S_3$$

$$r_4 = 318,2 - 208X_2 + S_4$$

$$r_5 = 50,4 - 208X_3 + S_5$$

$$r_6 = 162,7 - 208X_4 + S_6$$

$$r_{11} = 109,77 - 67,26X_1 + S_{11}$$

$$r_{12} = 83,32 - 54,46X_2 + S_{12}$$

$$r_{13} = 63,75 - 263,06X_3 + S_{13}$$

$$r_{14} = 83,32 - 106,5X_4 + S_{14}$$

Maka, Fase 1 :

Minimumkan :

$$r = R_3 + R_4 + R_5 + R_6 + R_{11} + R_{12} + R_{13} + R_{14}$$

$$\begin{aligned}
 r &= 678,9 - 416X_1 + S_3 + 318,2 - 208X_2 + S_4 + 50,4 - 208X_5 + S_5 \\
 &\quad + 162,7 - 208X_4 + S_6 + 109,77 - 67,26X_1 + S_{11} + 83,32 - \\
 &\quad 54,46X_2 + S_{12} + 63,27 - 263,06X_3 + S_{13} + 83,32 - 106,5X_4 + \\
 &\quad S_{14} \\
 r &= 1550,36 - 483,26X_1 - 262,46X_2 - 471,06X_3 - 314,5X_4 + S_3 + \\
 &\quad S_4 + S_5 + S_6 + S_{11} + S_{12} + S_{13} + S_{14}
 \end{aligned}$$

Persamaan – persamaan diatas dimasukkan kedalam tabel Simpleks Fase 1 yang terlampir pada Lampiran 1.

Dari tabel Simpleks Fase 1 maka didapatkan persamaan untuk fase 2 sebagai berikut :

Fase 2 :

$$\begin{aligned}
 S_1 + 5.881S_{11} &= 212.180,3 \\
 S_2 + 5.021S_{12} + 1.418S_{13} + 2.610S_{14} &= 1.495.818,12 \\
 X_1 - 0,015S_{11} &= 1,632 \rightarrow X_1 = 1,632 + 0,015S_{11} \\
 X_2 - 0,018S_{12} &= 1,530 \rightarrow X_2 = 1,530 + 0,018S_{12} \\
 X_3 - 0,004S_{13} &= 0,243 \rightarrow X_3 = 0,243 + 0,004S_{13} \\
 X_4 - 0,009S_{14} &= 0,782 \rightarrow X_4 = 0,782 + 0,009S_{14} \\
 S_7 + 0,015S_{11} &= 0,368 \\
 S_8 + 0,018S_{12} &= 0,470 \\
 S_9 + 0,004S_{13} &= 1,758 \\
 S_{10} + 0,009S_{14} &= 1,48 \\
 S_3 - 6,18S_{11} &= 0,0224 \\
 S_4 - 3,82S_{12} &= 0,0255 \\
 S_5 - 0,79S_{13} &= 0,0068 \\
 S_6 - 1,95S_{14} &= 0,00283
 \end{aligned}$$

Kembali ke persamaan semula:

Minimumkan :

$$Z = 395.482X_1 + 273.446X_2 + 373.030X_3 + 277.918X_4$$

$$Z = 395.482 (1,632 + 0,015S_{11}) + 273.446 (1,5299 + 0,018S_{12}) + 373.030 (0,243 + 0,004S_{13}) + 277.918(0,7823 + 0,009S_{14})$$

$$Z = 645.599,7 + 5.893,68S_{11} + 418.353,3 + 5.031,41S_{12} + 90.400,15 + 1.417,51S_{13} + 217.428,4 + 2612,43S_{14}$$

$$Z = 1.371.782,58 + 5.933,73S_{11} + 4.922,03S_{12} + 1.492,12S_{13} + 2.501,26S_{14}$$

Persamaan – persamaan diatas dimasukkan ke dalam tabel Simpleks Fase 2 yang terlampir pada lampiran 2.

Dari tabel Simpleks Fase 2 bisa didapatkan tabel optimum. Jadi solusinya adalah:

|                |                     |
|----------------|---------------------|
| $X_1 = 1,6320$ | Dibulatkan = 2 buah |
| $X_2 = 1,5299$ | Dibulatkan = 2 buah |
| $X_3 = 0,2423$ | Dibulatkan = 1 buah |
| $X_4 = 0,7823$ | Dibulatkan = 1 buah |

Hasil solusi optimum diatas telah diperiksa dengan menggunakan program bantu manajemen QM yang dapat dilihat pada gambar 4.2 dan LiPs yang outputnya bisa dilihat di lampiran 6.



File Edit View Module Format Tools Window Help

100%

8.21 Arial B I U .0000 Fix Dec 0.0 Step Edit Data

Objective  
☐ Maximize  
☒ Minimize

Instruction  
 There are more results available in additional windows. These may b

Linear Programmin

OPTIMASI BIAYA ALAT B

|                           | Excavator | Bulldozer | Motor Grader | Vibratory Roller |    | RHS         |
|---------------------------|-----------|-----------|--------------|------------------|----|-------------|
| Minimize                  | 395,582   | 446,870   | 373,030      | 277,918          |    |             |
| Biaya Galian              | 395,582   | 0         | 0            | 0                | <= | 857,780     |
| Biaya Timbunan            | 0         | 446,870   | 373,030      | 277,918          | <= | 2,222,000   |
| Waktu Excavator           | 416       | 0         | 0            | 0                | >= | 678.9       |
| Waktu Bulldozer           | 0         | 208       | 0            | 0                | >= | 318.2       |
| Waktu Motor Grader        | 0         | 0         | 208          | 0                | >= | 50.4        |
| Waktu Vibratory Roller    | 0         | 0         | 0            | 208              | >= | 162.7       |
| Jumlah Excavator          | 1         | 0         | 0            | 0                | <= | 2           |
| Jumlah Bulldozer          | 0         | 1         | 0            | 0                | <= | 2           |
| Jumlah Motor Grader       | 0         | 0         | 1            | 0                | <= | 2           |
| Jumlah Vibratory Roller   | 0         | 0         | 0            | 1                | <= | 2           |
| Produksi Excavator        | 67.26     | 0         | 0            | 0                | >= | 109.77      |
| Produksi Bulldozer        | 0         | 54.46     | 0            | 0                | >= | 83.32       |
| Produksi Motor Grader     | 0         | 0         | 263.06       | 0                | >= | 63.75       |
| Produksi Vibratory Roller | 0         | 0         | 0            | 106.5            | >= | 83.32       |
| Solution->                | 1.632     | 1.5299    | 2423         | 7823             |    | 1,637,108.0 |

**Gambar 4.2** Hasil Analisa Program QM

Sumber : Perhitungan

Dari hasil analisa, untuk persoalan, untuk persoalan penentuan jumlah alat berat yang dibutuhkan pada pekerjaan galian, timbunan dan pemadatan proyek pembangunan underpass Mayjen Sungkono, kebutuhan alat paling ekonomis adalah :

2 buah *Excavator* PC200-8

2 buah *Bulldozer* D37-PX

1 buah *Motor Grader* GD535-5

1 buah *Vibro Roller* SV525-D

Hasil analisa ini hanya berlaku untuk tipe alat yang telah disebutkan diatas. Hasil analisa akan berbeda untuk tipe yang lain karena hasil produksi alat akan berbeda sesuai dengan tipenya begitu pula dengan analisa biaya operasional alat per jamnya.

#### 4.7. Penjadwalan Penggunaan Alat

Dari hasil analisa diatas didapatkan solusi optimum dari permasalahan ini adalah :

|                                     |          |
|-------------------------------------|----------|
| $X_1 = \text{Excavator PC200-8}$    | = 2 buah |
| $X_2 = \text{Bulldozer D37-PX}$     | = 2 buah |
| $X_3 = \text{Motor Grader GD535-5}$ | = 1 buah |
| $X_4 = \text{Vibro Roller SV525-D}$ | = 1 buah |

Jadi waktu yang dibutuhkan untuk masing-masing alat untuk menyelesaikan pekerjaan galian dan timbunan adalah :

1. *Excavator PC200-8*

|                                      |  |
|--------------------------------------|--|
| Jumlah <i>Excavator</i> dari analisa | = 2 buah   |
| Volume pekerjaan                     | = 46.665,25 m <sup>3</sup>                               |
| Produksi 1 (satu) alat               | = 67,26 m <sup>3</sup> /jam                              |
| Produksi 2 (dua) alat                | = 134,52 m <sup>3</sup> /jam                             |
| Jadi waktu yang diperlukan           | = $\frac{\text{Volume}}{n \times \text{produksi}}$       |
|                                      | = $\frac{46.665,25}{2 \times 67,26} = 346,9 \text{ jam}$ |
|                                      | = $\frac{346,9}{8} = 43,4 \text{ hari}$                  |
|                                      | = 44 hari  |

2. *Bulldozer D37-PX*

|                                      |   |
|--------------------------------------|---|
| Jumlah <i>Bulldozer</i> dari analisa | = 2 buah  |
| Volume pekerjaan                     | = 17.329 m <sup>3</sup>                               |
| Produksi 1 (satu) alat               | = 83,32 m <sup>3</sup> /jam                           |
| Produksi 2 (dua) alat                | = 166,64 m <sup>3</sup> /jam                          |
| Jadi waktu yang diperlukan           | = $\frac{\text{Volume}}{n \times \text{produksi}}$    |
|                                      | = $\frac{17.329}{2 \times 83,32} = 103,9 \text{ jam}$ |

$$= \frac{103,9}{8} = 12,9 \text{ hari}$$

$$= 13 \text{ hari}$$

### 3. *Motor Grader* GD535-5

$$\begin{aligned} \text{Jumlah Motor Grader dari analisa} &= 1 \text{ buah} \\ \text{Volume pekerjaan} &= 13.260 \text{ m}^3 \\ \text{Produksi 1 (dua) alat} &= 263,06 \text{ m}^3/\text{jam} \\ \text{Jadi waktu yang diperlukan} &= \frac{\text{Volume}}{n \times \text{produksi}} \\ &= \frac{13.260}{263,06} = 50,4 \text{ jam} \\ &= \frac{50,4}{8} = 6,3 \text{ hari} \\ &= 7 \text{ hari} \end{aligned}$$

### 4. *Vibration Roller* SV525-D

$$\begin{aligned} \text{Jumlah Vibration Roller dari analisa} &= 1 \text{ buah} \\ \text{Volume pekerjaan} &= 17.329 \text{ m}^3 \\ \text{Produksi 1 (satu) alat} &= 106,5 \text{ m}^3/\text{jam} \\ \text{Jadi waktu yang diperlukan} &= \frac{\text{Volume}}{n \times \text{produksi}} \\ &= \frac{17.329}{106,5} = 162,7 \text{ jam} \\ &= \frac{162,7}{8} = 20,3 \text{ hari} \\ &= 21 \text{ hari} \end{aligned}$$

Sesuai perhitungan penjadwalan penggunaan alat berat maka waktu yang diperlukan pekerjaan tanah (galian dan timbunan) adalah :

$$\begin{aligned} \text{Pekerjaan galian tanah} &= 44 \text{ hari} = 352 \text{ jam} \\ \text{Pekerjaan penghamparan tanah} &= 13 \text{ hari} = 104 \text{ jam} \\ \text{Pekerjaan perataan tanah} &= 7 \text{ hari} = 56 \text{ jam} \end{aligned}$$

Pekerjaan pemadatan tanah = 21 hari = 168 jam

Untuk penjadwalan lebih detail selanjutnya dapat dilihat pada lampiran 3.

#### **4.8. Metode Pelaksanaan Dari Hasil Optimum**

Metode pelaksanaan yang digunakan disesuaikan dengan hasil perhitungan optimasi alat berat supaya hasil perhitungan optimasi dapat digunakan di lapangan.

##### **4.8.1. Pekerjaan Galian Tanah**

Pekerjaan galian tanah di proyek ini akan dikerjakan sampai dengan elevasi -6 m (elevasi terdalam), sebelum proses pelaksanaan galian, terlebih dulu telah buat dinding penahan tanah permanen dengan borepile sehingga tanah galian bisa stabil dan terhindar dari keruntuhan. di proyek ini akan dilaksanakan dengan metode galian 2 arah dan menggunakan sistem Galian Open Cut.

#### **A. Metode Galian Tanah**

##### **1. Penjadwalan galian**

Dengan rencana schedule galian selama 44 hari dan total volume galian sebesar  $\pm 46.665,25 \text{ m}^3$  maka diperlukan buangan galian tanah sebesar  $\pm 1060 \text{ m}^3/\text{hari}$ . Penggalian dilakukan dengan dua alat excavator/backhoe dengan kapasitas bucket  $0,9 \text{ m}^3$ . Berdasarkan perhitungan, produktivitas 2 buah excavator adalah  $134,52 \text{ m}^3/\text{jam}$

##### **2. Arah Galian**

Untuk area open cut pekerjaan galian dilakukan secara menerus dan bertahap setiap kedalaman 2 meter. Untuk arah galian dimulai dari kedua sisi underpass sehingga antar Exavator satu dengan yang lainnya tidak terjadi

konflik (bertabrakan) Galian tanah harus dilaksanakan terus-menerus per layer.

### **3. Pekerjaan Galian Tanah**

- Apabila dalam penggalian menemukan pipa-pipa air, gas, pembuangan, kabel-kabel listrik, telephone dan lain-lain harus dikoordinasikan dengan instansi terkait,
- Penggalian dilakukan secara bertahap setiap kedalaman 2 meter sampai mencapai kedalaman yang dibutuhkan yaitu – 6 meter dari MTA.
- Galian harus bebas dari genangan air akibat hujan, parit atau mata air.

#### **4.8.2. Pekerjaan Timbunan Tanah**

Pada pekerjaan timbunan tanah merupakan suatu proses penambahan material berupa tanah untuk mendapatkan elevasi yang direncanakan, selain itu juga berguna untuk perbaikan tanah dasar (*subgrade*). Saat pekerjaan timbunan tanah hal yang pertama dilakukan adalah penghamparan material (tanah) kemudian dilakukan perataan permukaan tanah, setelah penghamparan dan perataan tanah maka tanah tersebut harus dipadatkan sesuai dengan spesifikasi dari proyek sehingga hasil timbunan dapat digunakan dengan baik. Pekerjaan ini dilakukan secara bertahap tiap lapis, alat berat yang digunakan adalah bulldozer dan motor grader, dan vibratory roller.

### **B. Metode Timbunan Tanah**

#### **a. Pekerjaan Penghamparan Tanah**

Pekerjaan pertama yang dilakukan penambahan material berupa tanah untuk mendapatkan elevasi yang direncanakan dengan cara dihamparkan dari material yang sudah tersedia menggunakan bulldozer sampai mendapatkan elevasi ketinggian yang direncanakan.

## 1. Penghamparan material

Berdasarkan hasil perhitungan penjadwalan alat berat didapatkan waktu penghamparan material tanah selama 13 hari, dengan volume  $17.329 \text{ m}^3$  (loose). Maka diperlukan penghamparan dengan volume  $1.020 \text{ m}^3/\text{hari}$ . Penghamparan dilakukan dengan 2 alat bulldozer. Berdasarkan perhitungan produktivitas 2 buah bulldozer adalah  $166,64 \text{ m}^3/\text{jam}$ .

## 2. Arah Penghamparan

Untuk penghamparan dilakukan dari sisi barat menuju timur underpass karena menggunakan 2 buah bulldozer dengan lebar 2,32 meter dan lebar underpass adalah 17 meter, maka sistem kerja bulldozer dapat berjalan beriringan dengan jarak sedekat mungkin antara 1 bulldozer dengan bulldozer lainnya.

## 3. Pekerjaan Penghamparan Tanah

- seluruh area harus sudah bersih dari humus, tumbuh – tumbuhan, benda – benda sisa konstruksi, akar pohon, sampah, dan atau bahan yang dapat mengganggu pelaksanaan pekerjaan
- Penghamparan tanah urug dilakukan secara bertahap lapis demi lapis dengan dilakukan perataan dan pemadatan secara langsung tiap lapisnya sampai mencapai elevasi permukaan yang diinginkan. Karena tinggi rencana tanah timbunan adalah 1,15 meter, dan berdasarkan spesifikasi pekerjaan tiap lapis timbunan tidak lebih dari 30 cm maka untuk pekerjaan ini dilakukan 4 lapis/ 4 layer, dimana tiap lapis nya dilakukan pekerjaan timbunan setebal 28,75 cm atau untuk mempermudah pelaksanaan, lapisan 1-3 ketebalan timbunan 30 cm, dan lapisan ke 4 ketebalan 25 cm.

## **b. Pekerjaan Perataan Tanah**

Selanjutnya setelah tanah sudah selesai dihamparkan maka akan diratakan oleh motor grader, disini proses pembentukan jalan sudah dimulai dengan kemiringan 2% sesuai dengan spesifikasi teknis dari kontraktor pelaksana.

### **1. Perataan material**

Berdasarkan hasil perhitungan penjadwalan alat berat didapatkan waktu perataan material tanah selama 7 hari, dengan volume  $13.260 \text{ m}^3$ . Perataan dilakukan dengan 1 alat motor grader. Berdasarkan perhitungan produktivitas 1 Motor grader adalah  $263,06 \text{ m}^3/\text{jam}$ .

### **2. Arah Perataan Tanah**

Untuk perataan dilakukan dari sisi barat menuju timur underpass menggunakan 1 buah Motor grader dengan lebar blade 3,71 meter.

### **3. Pekerjaan Perataan Tanah**

- seluruh area harus sudah bersih dari humus, tumbuh – tumbuhan, benda – benda sisa konstruksi, akar pohon, sampah, dan atau bahan yang dapat mengganggu pelaksanaan pekerjaan
- Perataan tanah urug dilakukan secara bertahap lapis demi lapis dengan dilakukan pemadatan secara langsung tiap lapisnya sampai mencapai elevasi permukaan yang diinginkan. Karena tinggi rencana tanah timbunan adalah 1,15 meter, dan berdasarkan spesifikasi pekerjaan tiap lapis timbunan tidak lebih dari 30 cm maka untuk pekerjaan ini dilakukan 4 lapis/ 4 layer, dimana tiap lapis nya dilakukan pekerjaan timbunan setebal 28,75 cm atau untuk mempermudah pelaksanaan, lapisan 1-3 ketebalan timbunan 30 cm, dan lapisan ke 4 ketebalan 25 cm.

### c. Pekerjaan Pemadatan Tanah

Proses selanjutnya adalah pekerjaan pemadatan tanah. Pekerjaan ini dilakukan untuk menghilangkan kandungan air tanah dan pori-pori (rongga udara) yang ada dalam tanah. Alat yang digunakan adalah vibratory roller, dimana alat tersebut berfungsi untuk mengurangi rongga udara dalam tanah agar tanah menjadi lebih rapat dan saling merekat, sehingga bangunan yang ada di atasnya menjadi stabil.

#### 1. Pemadatan material

Berdasarkan hasil perhitungan penjadwalan alat berat didapatkan waktu pemadatan material tanah selama 21 hari, dengan volume  $17.329 \text{ m}^3$  (compacted). Pemadatan dilakukan dengan 1 alat vibratory roller. Berdasarkan perhitungan produktivitas 1 vibratory roller adalah  $106,5 \text{ m}^3/\text{jam}$ .

2. **Arah Pemadatan Tanah** Untuk perataan dilakukan dari sisi barat menuju timur underpass menggunakan 1 buah Motor grader dengan lebar efektif 2,13 meter.

#### 3. Pekerjaan Pemadatan Tanah

- seluruh area harus sudah bersih dari humus, tumbuh – tumbuhan, benda – benda sisa konstruksi, akar pohon, sampah, dan atau bahan yang dapat mengganggu pelaksanaan pekerjaan
- Pemadatan tanah urug dilakukan secara bertahap lapis demi lapis sampai mencapai elevasi permukaan yang diinginkan. Karena tinggi rencana tanah timbunan adalah 1,15 meter, dan berdasarkan spesifikasi pekerjaan tiap lapis timbunan tidak lebih dari 30 cm maka untuk pekerjaan ini dilakukan 4 lapis/ 4 layer, dimana tiap lapis nya dilakukan pekerjaan timbunan setebal 28,75 cm atau untuk mempermudah pelaksanaan, lapisan 1-3 ketebalan timbunan 30 cm, dan lapisan ke 4 ketebalan 25 cm.



#### 4.9. Menghitung Biaya Alat Berat Dari Hasil Solusi Optimum

Dari hasil analisa diatas didapatkan solusi optimum dari permasalahan ini adalah :

$$X_1 = \text{Excavator PC200-8} = 2 \text{ buah}$$

$$X_2 = \text{Bulldozer D37-PX} = 2 \text{ buah}$$

$$X_3 = \text{Motor Grader GD535-5} = 1 \text{ buah}$$

$$X_4 = \text{Vibro Roller SV525-D} = 1 \text{ buah}$$

Biaya yang dikeluarkan untuk operasional alat berat adalah :

➤ Galian

$$= \text{Rp.}395.582 \times 2$$

$$= \text{Rp.}791.164/\text{jam}$$

➤ Timbunan

$$= \text{Rp.}446.870 \times 2 + \text{Rp.}373.030 \times 1 + \text{Rp.}277.918 \times 1$$

$$= \text{Rp.}1.544.688/\text{jam}$$

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***

## **BAB V**

### **KESIMPULAN & SARAN**

#### **5.1. Kesimpulan**

Dari perhitungan dan analisa alat berat dengan menggunakan analisa program linier dengan metode simpleks pada pekerjaan galian, dan timbunan proyek *Pembangunan Underpass Mayjen Sungkono Surabaya*, dapat diambil kesimpulan adalah bahwa biaya yang dikeluarkan per jam nya untuk pekerjaan galian adalah Rp.791.164 dan biaya yang dikeluarkan per jam nya untuk pekerjaan timbunan adalah Rp.1.544.688

#### **5.2. Saran**

Dari perhitungan dan analisa pemilihan alat berat dengan menggunakan analisa program linier dengan teknik pemecahan metode simpleks pada pekerjaan galian, timbunan dan pemadatan proyek pembangunan *Underpass Mayjen sungkono Surabaya* yaitu sebagai berikut :

1. Untuk optimasi alat berat menggunakan lebih baik proyek dengan skala pekerjaan yang besar dan lahan yang besar supaya pembatas jumlah alat berat dapat lebih di optimalkan.
2. Dengan menggunakan analisa program linier, dapat ditentukan solusi optimal dari beberapa tipe alat berat. Hasil analisa dapat dibandingkan dan dipilih mana solusi paling optimal.
3. Hal-hal seperti faktor cuaca, dan lain sebagainya sebaiknya diperhitungkan agar mendapatkan hasil yang lebih akurat.

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***

## DAFTAR PUSTAKA

- Hotniar Siringoringo. 2005. **Seri Teknik Riset Operasional Pemrograman Linear**. Jakarta : Graha Ilmu
- Qariatullailiyah, dan Retno Indryani. 2013. **Optimasi Biaya Penggunaan Alat Berat Untuk Pekerjaan Pengangkutan Dan Penimbunan Pada Proyek Grand Island Surabaya Dengan Program Linier**, Jurnal Teknik Pomits Vol. 1, No. 1, (2013) 1-5 : Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
- Riduan R.Amin, Ir., M.T. 2014. **Manajemen Peralatan Berat Untuk Jalan**. Yogyakarta : Graha Ilmu
- Rochmanhadi. 1985. ***Perhitungan Biaya Pelaksanaan Pekerjaan Dengan Menggunakan Alat-Alat Berat***. Jakarta : Departemen Pekerjaan Umum.
- Rostiyanti F., Susy. 2008. ***Alat Berat Untuk Proyek Konstruksi. Cetakan I, Edisi 2***. Jakarta: Rineka Cipta.
- Tenrisukki T., Andi. 2003. ***Pemindahan Tanah Mekanis : Seri Diklat Kuliah..*** Jakarta : Gunadarma.
- Wilopo, Djoko. 2009. ***Metode Konstruksi Dan Alat Berat***. Jakarta : Universitas Indonesia.

***“halaman ini sengaja dikosongkan”***

### Lampiran 1 Perhitungan Kondisi Medan

| STA              | JARAK<br>(m) | Elevasi<br>MTA | Beda<br>Tinggi | Kelandaian<br>Tanah Asli<br>(%) | Elevasi<br>Rencana<br>Jalan | Kelandaian<br>Rencana<br>Jalan |
|------------------|--------------|----------------|----------------|---------------------------------|-----------------------------|--------------------------------|
| STA 0+000        |              | 43.954         |                |                                 | 43.954                      | 0.0                            |
|                  | 50           |                | 0.02           | 0.04                            |                             |                                |
| STA 0+050        |              | 43.935         |                |                                 | 43.935                      |                                |
|                  | 50           |                | 0.15           | 0.30                            |                             | 0.3                            |
| STA 0+100        |              | 43.786         |                |                                 | 43.786                      |                                |
|                  | 50           |                | 0.00           | 0.00                            |                             |                                |
| STA 0+150        |              | 43.786         |                |                                 | 43.586                      | 2.3                            |
|                  | 50           |                | 0.07           | 0.14                            |                             |                                |
| STA 0+200        |              | 43.854         |                |                                 | 42.089                      |                                |
|                  | 50           |                | 0.33           | 0.66                            |                             |                                |
| STA 0+250        |              | 43.523         |                |                                 | 40.517                      |                                |
|                  | 50           |                | 0.19           | 0.39                            |                             |                                |
| STA 0+300        |              | 43.717         |                |                                 | 39.076                      |                                |
|                  | 50           |                | 0.76           | 1.52                            |                             |                                |
| STA 0+350        |              | 44.475         |                |                                 | 38.000                      |                                |
|                  | 50           |                | 0.53           | 1.06                            |                             | 2.5                            |
| STA 0+400        |              | 45.003         |                |                                 | 39.099                      |                                |
|                  | 50           |                | 0.66           | 1.33                            |                             |                                |
| STA 0+450        |              | 44.339         |                |                                 | 40.592                      |                                |
|                  | 50           |                | 0.76           | 1.52                            |                             |                                |
| STA 0+500        |              | 45.099         |                |                                 | 42.199                      |                                |
|                  | 50           |                | 0.19           | 0.38                            |                             |                                |
| STA 0+550        |              | 45.288         |                |                                 | 43.619                      |                                |
|                  | 50           |                | 0.04           | 0.08                            |                             |                                |
| STA 0+600        |              | 45.326         |                |                                 | 45.119                      |                                |
|                  | 50           |                | 0.06           | 0.13                            |                             |                                |
| STA 0+633        |              | 45.389         |                |                                 | 45.389                      |                                |
| <b>Rata-rata</b> |              |                |                | <b>0.58</b>                     |                             |                                |

## Lampiran 2 Perhitungan Volume

| STA  |       | Jarak | LUAS (m <sup>2</sup> ) |              |                  |               |                |                    | VOLUME (m <sup>3</sup> ) |          |
|--|-------|-------|------------------------|--------------|------------------|---------------|----------------|--------------------|--------------------------|----------|
|  |       |       | Galian Awal            | Galian Akhir | Galian Rata-Rata | Timbunan Awal | Timbunan Akhir | Timbunan Rata-Rata | Galian 0m – 2m           | Timbunan |
| 0+000  | 0+050 | 50    | 29.73                  | 30.05        | 29.89            | 0.00          | 0.00           | 0.00               | 1494.50                  | 0.00     |
| 0+050  | 0+100 | 50    | 30.05                  | 31.38        | 30.72            | 0.00          | 0.00           | 0.00               | 1535.75                  | 0.00     |
| 0+100  | 0+150 | 50    | 31.38                  | 33.13        | 32.26            | 0.00          | 0.00           | 0.00               | 1612.75                  | 0.00     |
| 0+150  | 0+200 | 50    | 33.13                  | 34.00        | 33.57            | 0.00          | 0.00           | 0.00               | 1678.25                  | 0.00     |
| 0+200  | 0+250 | 50    | 34.00                  | 34.00        | 34.00            | 0.00          | 0.00           | 0.00               | 1700.00                  | 0.00     |
| 0+250  | 0+300 | 50    | 34.00                  | 34.00        | 34.00            | 0.00          | 0.00           | 0.00               | 1700.00                  | 0.00     |
| 0+300  | 0+350 | 50    | 34.00                  | 34.00        | 34.00            | 0.00          | 0.00           | 0.00               | 1700.00                  | 0.00     |
| 0+350  | 0+400 | 50    | 34.00                  | 34.00        | 34.00            | 0.00          | 0.00           | 0.00               | 1700.00                  | 0.00     |
| 0+400  | 0+450 | 50    | 34.00                  | 34.00        | 34.00            | 0.00          | 0.00           | 0.00               | 1700.00                  | 0.00     |
| 0+450  | 0+500 | 50    | 34.00                  | 34.00        | 34.00            | 0.00          | 0.00           | 0.00               | 1700.00                  | 0.00     |
| 0+500  | 0+550 | 50    | 34.00                  | 34.00        | 34.00            | 0.00          | 0.00           | 0.00               | 1700.00                  | 0.00     |
| 0+550  | 0+600 | 50    | 34.00                  | 34.00        | 34.00            | 0.00          | 0.00           | 0.00               | 1700.00                  | 0.00     |
| 0+600  | 0+650 | 50    | 34.00                  | 34.00        | 34.00            | 0.00          | 0.00           |                    | 1700.00                  |          |
| TOTAL JUMLAH VOLUME GALIAN (m <sup>3</sup> )   |       |       |                        |              |                  |               |                |                    | 21621.25                 |          |
| TOTAL JUMLAH VOLUME TIMBUNAN (m <sup>3</sup> ) |       |       |                        |              |                  |               |                |                    |                          | 0.00     |



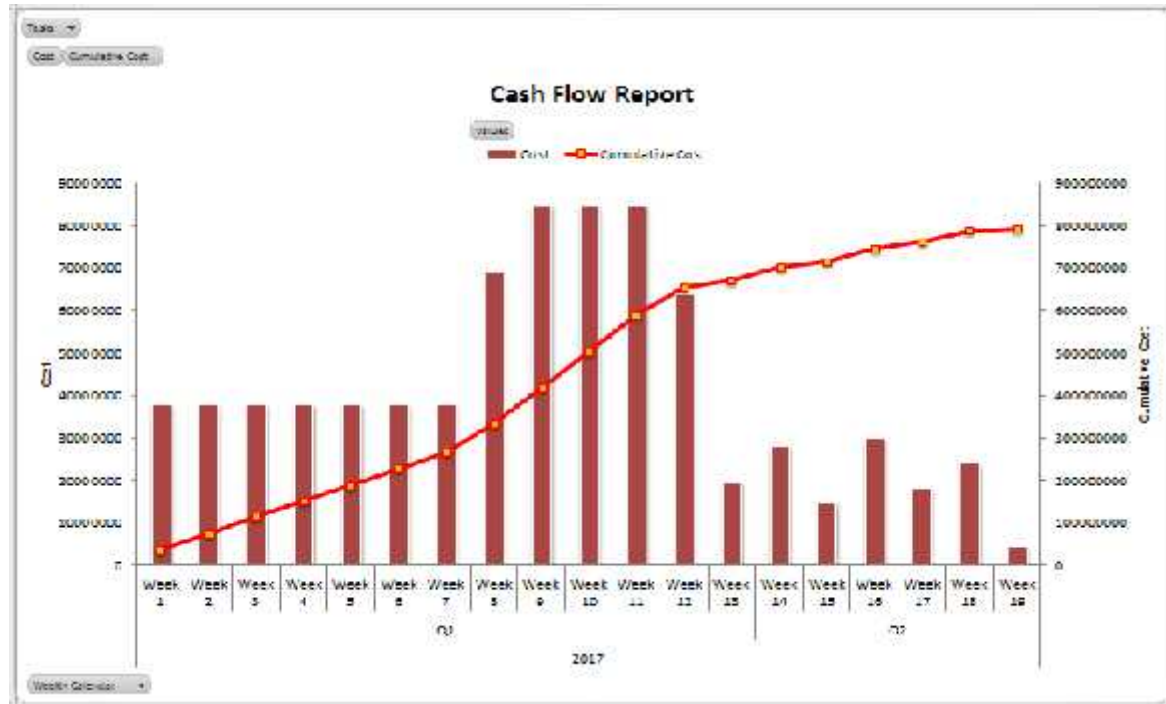
| STA  |       | Jarak | LUAS (m <sup>2</sup> ) |              |                  |               |                |                    | VOLUME (m <sup>3</sup> ) |          |
|--|-------|-------|------------------------|--------------|------------------|---------------|----------------|--------------------|--------------------------|----------|
|  |       |       | Galian Awal            | Galian Akhir | Galian Rata-Rata | Timbunan Awal | Timbunan Akhir | Timbunan Rata-Rata | Galian 2m – 4m           | Timbunan |
| 0+000  | 0+050 | 50    | 0.00                   | 0.00         | 0.00             | 0.00          | 0.00           | 0.00               | 0.00                     | 0.00     |
| 0+050  | 0+100 | 50    | 0.00                   | 0.00         | 0.00             | 0.00          | 0.00           | 0.00               | 0.00                     | 0.00     |
| 0+100  | 0+150 | 50    | 0.00                   | 0.00         | 0.00             | 0.00          | 0.00           | 0.00               | 0.00                     | 0.00     |
| 0+150  | 0+200 | 50    | 0.00                   | 25.30        | 12.65            | 0.00          | 0.00           | 0.00               | 632.50                   | 0.00     |
| 0+200  | 0+250 | 50    | 25.30                  | 34.00        | 29.65            | 0.00          | 0.00           | 0.00               | 1482.50                  | 0.00     |
| 0+250  | 0+300 | 50    | 34.00                  | 34.00        | 34.00            | 0.00          | 0.00           | 0.00               | 1700.00                  | 0.00     |
| 0+300  | 0+350 | 50    | 34.00                  | 34.00        | 34.00            | 0.00          | 0.00           | 0.00               | 1700.00                  | 0.00     |
| 0+350  | 0+400 | 50    | 34.00                  | 34.00        | 34.00            | 0.00          | 0.00           | 0.00               | 1700.00                  | 0.00     |
| 0+400  | 0+450 | 50    | 34.00                  | 34.00        | 34.00            | 0.00          | 0.00           | 0.00               | 1700.00                  | 0.00     |
| 0+450  | 0+500 | 50    | 34.00                  | 34.00        | 34.00            | 0.00          | 0.00           | 0.00               | 1700.00                  | 0.00     |
| 0+500  | 0+550 | 50    | 34.00                  | 16.18        | 25.09            | 0.00          | 0.00           | 0.00               | 1254.50                  | 0.00     |
| 0+550  | 0+600 | 50    | 16.18                  | 0.00         | 8.09             | 0.00          | 0.00           | 0.00               | 404.50                   | 0.00     |
| 0+600  | 0+650 | 50    | 0.00                   | 0.00         | 0.00             | 0.00          | 0.00           | 0.00               | 0.00                     | 0.00     |
| TOTAL JUMLAH VOLUME GALIAN (m <sup>3</sup> )   |       |       |                        |              |                  |               |                |                    | 12274.00                 |          |
| TOTAL JUMLAH VOLUME TIMBUNAN (m <sup>3</sup> ) |       |       |                        |              |                  |               |                |                    |                          | 0.00     |

| STA  |       | Jarak | LUAS (m <sup>2</sup> ) |              |                  |               |                |                    | VOLUME (m <sup>3</sup> ) |          |
|--|-------|-------|------------------------|--------------|------------------|---------------|----------------|--------------------|--------------------------|----------|
|  |       |       | Galian Awal            | Galian Akhir | Galian Rata-Rata | Timbunan Awal | Timbunan Akhir | Timbunan Rata-Rata | Galian                   | Timbunan |
| 0+000  | 0+050 | 50    | 0.00                   | 0.00         | 0.00             | 19.18         | 19.18          | 19.18              | 0.00                     | 959.00   |
| 0+050  | 0+100 | 50    | 0.00                   | 0.00         | 0.00             | 19.18         | 19.18          | 19.18              | 0.00                     | 959.00   |
| 0+100  | 0+150 | 50    | 0.00                   | 0.00         | 0.00             | 19.18         | 19.18          | 19.18              | 0.00                     | 959.00   |
| 0+150  | 0+200 | 50    | 0.00                   | 0.00         | 0.00             | 19.18         | 19.18          | 19.18              | 0.00                     | 959.00   |
| 0+200  | 0+250 | 50    | 0.00                   | 18.46        | 9.23             | 19.18         | 19.18          | 19.18              | 461.50                   | 959.00   |
| 0+250  | 0+300 | 50    | 18.46                  | 40.56        | 29.51            | 19.18         | 19.18          | 19.18              | 1475.50                  | 959.00   |
| 0+300  | 0+350 | 50    | 40.56                  | 76.48        | 58.52            | 19.18         | 19.18          | 19.18              | 2926.00                  | 959.00   |
| 0+350  | 0+400 | 50    | 76.48                  | 63.73        | 70.11            | 19.18         | 19.18          | 19.18              | 3505.25                  | 959.00   |
| 0+400  | 0+450 | 50    | 63.73                  | 25.14        | 44.44            | 19.18         | 19.18          | 19.18              | 2221.75                  | 959.00   |
| 0+450  | 0+500 | 50    | 25.14                  | 11.03        | 18.09            | 19.18         | 19.18          | 19.18              | 904.25                   | 959.00   |
| 0+500  | 0+550 | 50    | 11.03                  | 0.00         | 5.52             | 19.18         | 19.18          | 19.18              | 275.75                   | 959.00   |
| 0+550  | 0+600 | 50    | 0.00                   | 0.00         | 0.00             | 19.18         | 19.18          | 19.18              | 0.00                     | 959.00   |
| 0+600  | 0+650 | 50    | 0.00                   | 0.00         | 0.00             | 19.18         | 19.18          | 19.18              | 0.00                     | 959.00   |
| TOTAL JUMLAH VOLUME GALIAN (m <sup>3</sup> )   |       |       |                        |              |                  |               |                |                    | 11770.00                 |          |
| TOTAL JUMLAH VOLUME TIMBUNAN (m <sup>3</sup> ) |       |       |                        |              |                  |               |                |                    |                          | 12467    |

### Lampiran 3 Penjadwalan Menggunakan Program Bantu Ms.Project

| ID | WBS   | Task<br>Mudu | Task Name                               | Duration        | Predecessor (Start) | Finish             | Resource Names     |
|----|-------|--------------|---|-----------------|---------------------|--------------------|--------------------|
| 0  | 0     |              | <b>PEKERJAAN TANAH</b>                  | <b>110 days</b> |                     | <b>Mon 1/2/17</b>  | <b>Tue 5/9/17</b>  |
| 1  | 1     |              | <b>Pekerjaan Galian</b>                 | <b>44 days</b>  |                     | <b>Mon 1/2/17</b>  | <b>Tue 1/21/17</b> |
| 7  | 1.1   |              | Galian Tanah Elevasi 0m-2m              | 21 days         |                     | Mon 1/2/17         | Wed 1/25/17        |
| 9  | 1.2   |              | Galian Tanah Elevasi 2m-4m              | 12 days         | 2                   | Thu 1/26/17        | Wed 2/8/17         |
| 4  | 1.3   |              | Galian Tanah Elevasi 4m-6m              | 11 days         | 1                   | Thu 2/9/17         | Tue 2/13/17        |
| 5  | 2     |              | <b>Pemasangan Geotextile</b>            | <b>25 days</b>  |                     | <b>Wed 2/22/17</b> | <b>Wed 3/22/17</b> |
| 6  | 2.1   |              | Geotextile UV 250                       | 25 days         | 4                   | Wed 2/22/17        | Wed 3/22/17        |
| 7  | 3     |              | <b>Pekerjaan Timbunan</b>               | <b>41 days</b>  |                     | <b>Thu 3/23/17</b> | <b>Tue 5/9/17</b>  |
| 8  | 3.1   |              | <b>Layer Ke-1</b>                       | <b>12 days</b>  |                     | <b>Thu 3/23/17</b> | <b>Wed 4/5/17</b>  |
| 9  | 3.1.1 |              | Pekerjaan Penghampuran Tanah Layer ke-1 | 4 days          | 5                   | Thu 3/23/17        | Mon 3/27/17        |
| 10 | 3.1.2 |              | Pekerjaan Perataan Tanah Layer ke-1     | 2 days          | 9                   | Tue 3/28/17        | Wed 3/29/17        |
| 11 | 3.1.3 |              | Pekerjaan Pemadatan Tanah Layer ke-1    | 6 days          | 10                  | Thu 3/30/17        | Wed 4/5/17         |
| 12 | 3.2   |              | <b>Layer Ke-2</b>                       | <b>10 days</b>  |                     | <b>Thu 4/6/17</b>  | <b>Mon 4/17/17</b> |
| 13 | 3.2.1 |              | Pekerjaan Penghampuran Tanah Layer ke-2 | 3 days          | 11                  | Thu 4/6/17         | Sat 4/8/17         |
| 14 | 3.2.2 |              | Pekerjaan Perataan Tanah Layer ke-2     | 2 days          | 13                  | Mon 4/10/17        | Tue 4/11/17        |
| 15 | 3.2.3 |              | Pekerjaan Pemadatan Tanah Layer ke-2    | 5 days          | 14                  | Wed 4/12/17        | Mon 4/17/17        |
| 16 | 3.3   |              | <b>Layer Ke-3</b>                       | <b>10 days</b>  |                     | <b>Tue 4/18/17</b> | <b>Fri 4/28/17</b> |
| 17 | 3.3.1 |              | Pekerjaan Penghampuran Tanah Layer ke-3 | 3 days          | 15                  | Tue 4/18/17        | Thu 4/20/17        |
| 18 | 3.3.2 |              | Pekerjaan Perataan Tanah Layer ke-3     | 2 days          | 17                  | Fri 4/21/17        | Sat 4/22/17        |
| 19 | 3.3.3 |              | Pekerjaan Pemadatan Tanah Layer ke-3    | 5 days          | 18                  | Mon 4/24/17        | Fri 4/28/17        |
| 20 | 3.4   |              | <b>Layer Ke-4</b>                       | <b>9 days</b>   |                     | <b>Sat 4/29/17</b> | <b>Tue 5/9/17</b>  |
| 21 | 3.4.1 |              | Pekerjaan Penghampuran Tanah Layer ke-4 | 3 days          | 19                  | Sat 4/29/17        | Tue 5/2/17         |
| 22 | 3.4.2 |              | Pekerjaan Perataan Tanah Layer ke-4     | 1 day           | 21                  | Wed 5/3/17         | Wed 5/3/17         |
| 23 | 3.4.3 |              | Pekerjaan Pemadatan Tanah Layer ke-4    | 5 days          | 22                  | Thu 5/4/17         | Tue 5/9/17         |

## Lampiran 4 Kurva-S



## Lampiran 5 Input Program LiPs

|                   | X1     | X2     | X3     | X4     |    | RHS     |
|-------------------|--------|--------|--------|--------|----|---------|
| Objective         | 395582 | 273446 | 373030 | 277918 | -> | MIN     |
| Biaya Galian      | 395582 | 0      | 0      | 0      | <= | 857780  |
| Biaya Timbun...   | 0      | 273446 | 373030 | 277918 | <= | 2222000 |
| Waktu Excavat...  | 416    |        | 0      | 0      | >= | 678.9   |
| Waktu Bulldoz...  | 0      | 208    | 0      | 0      | >= | 318.2   |
| Waktu Motor ...   | 0      | 0      | 208    | 0      | >= | 50.4    |
| Waktu Vibrato...  | 0      | 0      | 0      | 208    | >= | 162.7   |
| Jumlah Excava...  | 1      | 0      | 0      | 0      | <= | 2       |
| Jumlah Bulldo...  | 0      | 1      | 0      | 0      | <= | 2       |
| Jumlah Motor...   | 0      | 0      | 1      | 0      | <= | 2       |
| Jumlah Vibrat...  | 0      | 0      | 0      | 1      | <= | 2       |
| Produksi Exca...  | 67.26  | 0      | 0      | 0      | >= | 109.77  |
| Produksi Bulld... | 0      | 54.46  | 0      | 0      | >= | 83.32   |
| Produksi Mot...   | 0      | 0      | 263.06 | 0      | >= | 63.75   |
| Produksi Vibra... | 0      | 0      | 0      | 106.5  | >= | 83.32   |
| Integer           | NO     | NO     | NO     | NO     |    |         |

## Lampiran 6 Output Program Bantu LiPs

### Fase 1

| *** Phase I --- Start *** |           |           |              |                  |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |            |
|---------------------------|-----------|-----------|--------------|------------------|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------------|
| Basis                     | Excavator | Bulldozer | Motor Grader | Vibratory Roller | s5 | s6 | s7 | s8 | s9 | s10 | s11 | s12 | s13 | s14 | s15 | s16 | s17 | s18 | s19 | s20 | s21 | s22 | s23 | s24 | s25 | s26 | RHS        |
| s5                        | 395582    | 0         | 0            | 0                | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 857780     |
| s6                        | 0         | 273446    | 373030       | 277918           | 0  | 1  | 0  | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 2.2226+006 |
| s19                       | 416       | 0         | 0            | 0                | 0  | 0  | -1 | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 676.9      |
| s20                       | 0         | 208       | 0            | 0                | 0  | 0  | 0  | -1 | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 316.2      |
| s21                       | 0         | 0         | 208          | 0                | 0  | 0  | 0  | 0  | -1 | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 50.4       |
| s22                       | 0         | 0         | 0            | 208              | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | -1  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 162.7      |
| s11                       | 1         | 0         | 0            | 0                | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 2          |
| s12                       | 0         | 1         | 0            | 0                | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 2          |
| s13                       | 0         | 0         | 1            | 0                | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 2          |
| s14                       | 0         | 0         | 0            | 1                | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 2          |
| s23                       | 67.26     | 0         | 0            | 0                | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | -1  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 109.77     |
| s24                       | 0         | 54.46     | 0            | 0                | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | -1  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 83.32      |
| s25                       | 0         | 0         | 263.06       | 0                | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | -1  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 63.75      |
| s26                       | 0         | 0         | 0            | 106.5            | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | -1  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 83.32      |
| Obj.                      | -483.26   | -262.46   | -471.06      | -314.5           | 0  | 0  | 1  | 1  | 1  | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 1   | 1   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1550.36    |

Variable to be made basic -> Excavator  
Ratios: RHS Column Excavator -> [ 2.1684 - 1.63197 - - 2 - - - 1539/943 - - - ]  
Variable out of the basic set -> s19

| *** Phase I --- Iteration 1 *** |           |           |              |                  |    |    |           |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |           |     |     |     |     |     |     |     |            |
|---------------------------------|-----------|-----------|--------------|------------------|----|----|-----------|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------------|
| Basis                           | Excavator | Bulldozer | Motor Grader | Vibratory Roller | s5 | s6 | s7        | s8 | s9 | s10 | s11 | s12 | s13 | s14 | s15 | s16 | s17 | s18 | s19       | s20 | s21 | s22 | s23 | s24 | s25 | s26 | RHS        |
| s5                              | 0         | 0         | 0            | 0                | 1  | 0  | 950.918   | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | -950.918  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 21.2202    |
| s6                              | 0         | 273446    | 373030       | 277918           | 0  | 1  | 0         | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0         | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 2.222e+006 |
| Excavator                       | 1         | 0         | 0            | 0                | 0  | 0  | -1/416    | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1/416     | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1.63197    |
| s20                             | 0         | 208       | 0            | 0                | 0  | 0  | 0         | -1 | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0         | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 316.2      |
| s21                             | 0         | 0         | 208          | 0                | 0  | 0  | 0         | 0  | -1 | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0         | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 50.4       |
| s22                             | 0         | 0         | 0            | 208              | 0  | 0  | 0         | 0  | 0  | -1  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0         | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 162.7      |
| s11                             | 0         | 0         | 0            | 0                | 0  | 0  | 1/416     | 0  | 0  | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | -1/416    | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0.368029   |
| s12                             | 0         | 1         | 0            | 0                | 0  | 0  | 0         | 0  | 0  | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0         | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 2          |
| s13                             | 0         | 0         | 1            | 0                | 0  | 0  | 0         | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0         | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 2          |
| s14                             | 0         | 0         | 0            | 1                | 0  | 0  | 0         | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0         | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 2          |
| s23                             | 0         | 0         | 0            | 0                | 0  | 0  | 0.161683  | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | -1  | 0   | 0   | 0   | -0.161683 | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 0.00362019 |
| s24                             | 0         | 54.46     | 0            | 0                | 0  | 0  | 0         | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | -1  | 0   | 0   | 0         | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 83.32      |
| s25                             | 0         | 0         | 263.06       | 0                | 0  | 0  | 0         | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | -1  | 0   | 0         | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 63.75      |
| s26                             | 0         | 0         | 0            | 106.5            | 0  | 0  | 0         | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | -1  | 0         | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 83.32      |
| Obj.                            | 0         | -262.46   | -471.06      | -314.5           | 0  | 0  | -0.161683 | 1  | 1  | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1.16168   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 761.694    |

Variable to be made basic -> Motor Grader  
Ratios: RHS Column Motor Grader -> [ - 5.95663 - - 63/260 - - - 2 - - - 0.24234 - ]  
Variable out of the basic set -> s21

| *** Phase I --- Iteration 2 *** |           |           |              |                  |    |    |           |    |          |     |     |     |     |     |     |     |     |     |           |     |           |     |     |     |     |     |              |         |
|---------------------------------|-----------|-----------|--------------|------------------|----|----|-----------|----|----------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----------|-----|-----------|-----|-----|-----|-----|-----|--------------|---------|
| Basis                           | Excavator | Bulldozer | Motor Grader | Vibratory Roller | s5 | s6 | s7        | s8 | s9       | s10 | s11 | s12 | s13 | s14 | s15 | s16 | s17 | s18 | s19       | s20 | s21       | s22 | s23 | s24 | s25 | s26 | RHS          |         |
| s5                              | 0         | 0         | 0            | 0                | 1  | 0  | 950.918   | 0  | 0        | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | -950.918  | 0   | 0         | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 21.2202      |         |
| s6                              | 0         | 273446    | 0            | 277918           | 0  | 1  | 0         | 0  | 1.793.41 | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0         | 0   | -1.793.41 | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 2.13161e+006 |         |
| Excavator                       | 1         | 0         | 0            | 0                | 0  | 0  | -1/416    | 0  | 0        | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1/416     | 0   | 0         | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1.63197      |         |
| s20                             | 0         | 208       | 0            | 0                | 0  | 0  | 0         | -1 | 0        | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0         | 1   | 0         | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 316.2        |         |
| Motor Grader                    | 0         | 0         | 1            | 0                | 0  | 0  | 0         | 0  | -1/208   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0         | 0   | 1/208     | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 63/260       |         |
| s22                             | 0         | 0         | 0            | 208              | 0  | 0  | 0         | 0  | -1       | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0         | 0   | 0         | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 162.7        |         |
| s11                             | 0         | 0         | 0            | 0                | 0  | 0  | 1/416     | 0  | 0        | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | -1/416    | 0   | 0         | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0.368029     |         |
| s12                             | 0         | 1         | 0            | 0                | 0  | 0  | 0         | 0  | 0        | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0         | 0   | 0         | 0   | 0   | 0   | 0   | 2   |              |         |
| s13                             | 0         | 0         | 0            | 0                | 0  | 0  | 0         | 0  | 1/208    | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0         | 0   | -1/208    | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 457/260      |         |
| s14                             | 0         | 0         | 0            | 1                | 0  | 0  | 0         | 0  | 0        | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0         | 0   | 0         | 0   | 0   | 0   | 0   | 2   |              |         |
| s23                             | 0         | 0         | 0            | 0                | 0  | 0  | 0.161683  | 0  | 0        | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | -1  | 0   | 0   | 0   | -0.161683 | 0   | 0         | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 0.00362019   |         |
| s24                             | 0         | 54.46     | 0            | 0                | 0  | 0  | 0         | 0  | 0        | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | -1  | 0   | 0   | 0         | 0   | 0         | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 83.32        |         |
| s25                             | 0         | 0         | 0            | 0                | 0  | 0  | 0         | 0  | 1.26471  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | -1  | 0   | 0         | 0   | -1.26471  | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0.00833846   |         |
| s26                             | 0         | 0         | 0            | 106.5            | 0  | 0  | 0         | 0  | 0        | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | -1  | 0         | 0   | 0         | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 83.32        |         |
| Obj.                            | 0         | -262.46   | 0            | -314.5           | 0  | 0  | -0.161683 | 1  | -1.26471 | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1.16168   | 0   | 2.26471   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0            | 647.532 |

Variable to be made basic -> Vibratory Roller  
Ratios: RHS Column Vibratory Roller -> [ - 7.66993 - - - 0.782212 - - - 2 - - - 0.782347 ]  
Variable out of the basic set -> s22

\*\*\* Phase I --- Iteration 3 \*\*\*

| Basis            | Excavator | Bulldozer | Motor Grader | Vibratory Roller | s5 | s6 | s7        | s8 | s9       | s10      | s11     | s12 | s13 | s14 | s15 | s16 | s17 | s18 | s19       | s20 | s21      | s22      | s23 | s24 | s25 | s26 | RHS          |            |
|------------------|-----------|-----------|--------------|------------------|----|----|-----------|----|----------|----------|---------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----------|-----|----------|----------|-----|-----|-----|-----|--------------|------------|
| s5               | 0         | 0         | 0            | 0                | 1  | 0  | 950.918   | 0  | 0        | 0        | 0       | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | -950.918  | 0   | 0        | 0        | 0   | 0   | 0   | 0   | 212202       |            |
| s6               | 0         | 273446    | 0            | 0/1              | 0  | 1  | 0         | 0  | 1793.41  | 1336.14  | 0       | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0         | 0   | -1793.41 | -1336.14 | 0   | 0   | 0   | 0   | 1.91472e+006 |            |
| Excavator        | 1         | 0         | 0            | 0                | 0  | 0  | -1/416    | 0  | 0        | 0        | 0       | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1/416     | 0   | 0        | 0        | 0   | 0   | 0   | 0   | 1.63197      |            |
| s20              | 0         | 208       | 0            | 0                | 0  | 0  | 0         | -1 | 0        | 0        | 0       | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0         | 1   | 0        | 0        | 0   | 0   | 0   | 0   | 318.2        |            |
| Motor Grader     | 0         | 0         | 1            | 0                | 0  | 0  | 0         | 0  | -1/208   | 0        | 0       | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0         | 0   | 1/208    | 0        | 0   | 0   | 0   | 0   | 0            | 63/260     |
| Vibratory Roller | 0         | 0         | 0            | 1                | 0  | 0  | 0         | 0  | 0        | -1/208   | 0       | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0         | 0   | 0        | 1/208    | 0   | 0   | 0   | 0   | 0.78212      |            |
| s11              | 0         | 0         | 0            | 0                | 0  | 0  | 1/416     | 0  | 0        | 0        | 1       | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | -1/416    | 0   | 0        | 0        | 0   | 0   | 0   | 0   | 0.368029     |            |
| s12              | 0         | 1         | 0            | 0                | 0  | 0  | 0         | 0  | 0        | 0        | 0       | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0         | 0   | 0        | 0        | 0   | 0   | 0   | 0   | 2            |            |
| s13              | 0         | 0         | 0            | 0                | 0  | 0  | 0         | 0  | 1/208    | 0        | 0       | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0         | 0   | -1/208   | 0        | 0   | 0   | 0   | 0   | 0            | 457/260    |
| s14              | 0         | 0         | 0            | 0                | 0  | 0  | 0         | 0  | 0        | 1/208    | 0       | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0         | 0   | 0        | -1/208   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0            | 1.21779    |
| s23              | 0         | 0         | 0            | 0                | 0  | 0  | 0.161683  | 0  | 0        | 0        | 0       | 0   | 0   | 0   | -1  | 0   | 0   | 0   | -0.161683 | 0   | 0        | 0        | 1   | 0   | 0   | 0   | 0.00362019   |            |
| s24              | 0         | 54.46     | 0            | 0                | 0  | 0  | 0         | 0  | 0        | 0        | 0       | 0   | 0   | 0   | 0   | -1  | 0   | 0   | 0         | 0   | 0        | 0        | 1   | 0   | 0   | 0   | 83.32        |            |
| s25              | 0         | 0         | 0            | 0                | 0  | 0  | 0         | 0  | 1.26471  | 0        | 0       | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | -1  | 0   | 0         | 0   | -1.26471 | 0        | 0   | 0   | 1   | 0   | 0            | 0.00833846 |
| s26              | 0         | 0         | 0            | 0                | 0  | 0  | 0         | 0  | 0        | 0        | 213/416 | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | -1  | 0         | 0   | 0        | -213/416 | 0   | 0   | 0   | 1   | 0            | 0.0144712  |
| Obj.             | 0         | -262.46   | 0            | 0                | 0  | 0  | -0.161683 | 1  | -1.26471 | -213/416 | 0       | 0   | 0   | 0   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1.63168   | 0   | 2.26471  | 629/416  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0            | 401.547    |

Variable to be made basic -> Bulldozer  
Ratios: RHS/Column Bulldozer -> { - 7.00036 - 1.52981 - - - 2 - - - 1.52993 - - }  
Variable out of the basic set -> s20

\*\*\* Phase I --- Iteration 4 \*\*\*

| Basis            | Excavator | Bulldozer | Motor Grader | Vibratory Roller | s5 | s6 | s7        | s8        | s9       | s10      | s11 | s12 | s13 | s14 | s15 | s16 | s17 | s18 | s19       | s20       | s21      | s22      | s23 | s24 | s25 | s26 | RHS         |            |
|------------------|-----------|-----------|--------------|------------------|----|----|-----------|-----------|----------|----------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----------|-----------|----------|----------|-----|-----|-----|-----|-------------|------------|
| s5               | 0         | 0         | 0            | 0                | 1  | 0  | 950.918   | 0         | 0        | 0        | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | -950.918  | 0         | 0        | 0        | 0   | 0   | 0   | 0   | 212202      |            |
| s6               | 0         | 0/1       | 0            | 0                | 0  | 1  | 0         | 1314.64   | 1793.41  | 1336.14  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0         | -1314.64  | -1793.41 | -1336.14 | 0   | 0   | 0   | 0   | 1.4959e+006 |            |
| Excavator        | 1         | 0         | 0            | 0                | 0  | 0  | -1/416    | 0         | 0        | 0        | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1/416     | 0         | 0        | 0        | 0   | 0   | 0   | 0   | 1.63197     |            |
| Bulldozer        | 0         | 1         | 0            | 0                | 0  | 0  | 0         | -1/208    | 0        | 0        | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0         | 1/208     | 0        | 0        | 0   | 0   | 0   | 0   | 0           | 1.52981    |
| Motor Grader     | 0         | 0         | 1            | 0                | 0  | 0  | 0         | 0         | -1/208   | 0        | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0         | 0         | 1/208    | 0        | 0   | 0   | 0   | 0   | 0           | 63/260     |
| Vibratory Roller | 0         | 0         | 0            | 1                | 0  | 0  | 0         | 0         | 0        | -1/208   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0         | 0         | 0        | 1/208    | 0   | 0   | 0   | 0   | 0           | 0.78212    |
| s11              | 0         | 0         | 0            | 0                | 0  | 0  | 1/416     | 0         | 0        | 0        | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | -1/416    | 0         | 0        | 0        | 0   | 0   | 0   | 0   | 0.368029    |            |
| s12              | 0         | 0         | 0            | 0                | 0  | 0  | 0         | 1/208     | 0        | 0        | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0         | -1/208    | 0        | 0        | 0   | 0   | 0   | 0   | 0           | 489/1040   |
| s13              | 0         | 0         | 0            | 0                | 0  | 0  | 0         | 0         | 1/208    | 0        | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0         | 0         | -1/208   | 0        | 0   | 0   | 0   | 0   | 0           | 457/260    |
| s14              | 0         | 0         | 0            | 0                | 0  | 0  | 0         | 0         | 0        | 1/208    | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0         | 0         | 0        | -1/208   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0           | 1.21779    |
| s23              | 0         | 0         | 0            | 0                | 0  | 0  | 0.161683  | 0         | 0        | 0        | 0   | 0   | 0   | 0   | -1  | 0   | 0   | 0   | -0.161683 | 0         | 0        | 0        | 1   | 0   | 0   | 0   | 0           | 0.00362019 |
| s24              | 0         | 0         | 0            | 0                | 0  | 0  | 0         | 0.261827  | 0        | 0        | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | -1  | 0   | 0   | 0         | -0.261827 | 0        | 0        | 0   | 1   | 0   | 0   | 0           | 0.00667308 |
| s25              | 0         | 0         | 0            | 0                | 0  | 0  | 0         | 0         | 0        | 1.26471  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | -1  | 0         | 0         | 0        | -1.26471 | 0   | 0   | 1   | 0   | 0           | 0.00833846 |
| s26              | 0         | 0         | 0            | 0                | 0  | 0  | 0         | 0         | 0        | 213/416  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | -1  | 0         | 0         | 0        | -213/416 | 0   | 0   | 0   | 1   | 0           | 0.0144712  |
| Obj.             | 0         | 0         | 0            | 0                | 0  | 0  | -0.161683 | -0.261827 | -1.26471 | -213/416 | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1.16168   | 1.26183   | 2.26471  | 629/416  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0           | 0.0333029  |

Variable to be made basic -> s9  
Ratios: RHS/Column s9 -> { - 834.109 - - - - - 365.6 - - - 0.00675131 - - }  
Variable out of the basic set -> s23

\*\*\* Phase I --- Iteration 5 \*\*\*

| Basis            | Excavator | Bulldozer | Motor Grader | Vibratory Roller | s5 | s6 | s7        | s8        | s9 | s10      | s11 | s12 | s13 | s14 | s15 | s16 | s17         | s18 | s19       | s20       | s21 | s22      | s23 | s24 | s25         | s26      | RHS      |              |           |
|------------------|-----------|-----------|--------------|------------------|----|----|-----------|-----------|----|----------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------------|-----|-----------|-----------|-----|----------|-----|-----|-------------|----------|----------|--------------|-----------|
| s5               | 0         | 0         | 0            | 0                | 1  | 0  | 950.918   | 0         | 0  | 0        | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0           | 0   | -950.918  | 0         | 0   | 0        | 0   | 0   | 0           | 0        | 212202   |              |           |
| s6               | 0         | 0         | 0            | 0                | 0  | 1  | 0         | 1314.64   | 0  | 1336.14  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1418.04     | 0   | 0         | -1314.64  | 0   | -1336.14 | 0   | 0   | 0           | -1418.04 | 0        | 1.49589e+006 |           |
| Excavator        | 1         | 0         | 0            | 0                | 0  | 0  | -1/416    | 0         | 0  | 0        | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0           | 0   | 1/416     | 0         | 0   | 0        | 0   | 0   | 0           | 0        | 1.63197  |              |           |
| Bulldozer        | 0         | 1         | 0            | 0                | 0  | 0  | 0         | -1/208    | 0  | 0        | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0           | 0   | 0         | 1/208     | 0   | 0        | 0   | 0   | 0           | 0        | 0        | 1.52981      |           |
| Motor Grader     | 0         | 0         | 1            | 0                | 0  | 0  | 0         | 0         | 0  | 0        | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | -0.00380241 | 0   | 0         | 0         | 0   | 0        | 0   | 0   | 50/13153    | 0        | 0        | 0.24234      |           |
| Vibratory Roller | 0         | 0         | 0            | 1                | 0  | 0  | 0         | 0         | 0  | -1/208   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0           | 0   | 0         | 0         | 0   | 1/208    | 0   | 0   | 0           | 0        | 0        | 0.782212     |           |
| s11              | 0         | 0         | 0            | 0                | 0  | 0  | 1/416     | 0         | 0  | 0        | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0           | 0   | -1/416    | 0         | 0   | 0        | 0   | 0   | 0           | 0        | 0.368029 |              |           |
| s12              | 0         | 0         | 0            | 0                | 0  | 0  | 0         | 1/208     | 0  | 0        | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0           | 0   | 0         | -1/208    | 0   | 0        | 0   | 0   | 0           | 0        | 0        | 489/1040     |           |
| s13              | 0         | 0         | 0            | 0                | 0  | 0  | 0         | 0         | 0  | 0        | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 50/13153    | 0   | 0         | 0         | 0   | 0        | 0   | 0   | -0.00380241 | 0        | 0        | 1.75766      |           |
| s14              | 0         | 0         | 0            | 0                | 0  | 0  | 0         | 0         | 0  | 1/208    | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 0           | 0   | 0         | 0         | 0   | -1/208   | 0   | 0   | 0           | 0        | 0        | 1.21779      |           |
| s23              | 0         | 0         | 0            | 0                | 0  | 0  | 0.161683  | 0         | 0  | 0        | 0   | 0   | 0   | 0   | -1  | 0   | 0           | 0   | -0.161683 | 0         | 0   | 0        | 0   | 1   | 0           | 0        | 0        | 0.00362019   |           |
| s24              | 0         | 0         | 0            | 0                | 0  | 0  | 0         | 0.261827  | 0  | 0        | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | -1  | 0           | 0   | 0         | -0.261827 | 0   | 0        | 0   | 0   | 1           | 0        | 0        | 0.00667308   |           |
| s9               | 0         | 0         | 0            | 0                | 0  | 0  | 0         | 0         | 1  | 0        | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | -0.790694   | 0   | 0         | 0         | -1  | 0        | 0   | 0   | 0.790694    | 0        | 0        | 0.00675131   |           |
| s26              | 0         | 0         | 0            | 0                | 0  | 0  | 0         | 0         | 0  | 213/416  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0           | -1  | 0         | 0         | 0   | -213/416 | 0   | 0   | 0           | 0        | 1        | 0            | 0.0144712 |
| Obj.             | 0         | 0         | 0            | 0                | 0  | 0  | -0.161683 | -0.261827 | 0  | -213/416 | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 1   | 0           | 1   | 1.16168   | 1.26183   | 1   | 629/416  | 0   | 0   | 0           | 1        | 0        | 0            | 0.0247644 |

Variable to be made basic -> s10  
Ratios: RHS/Column s10 -> { - 1119.56 - - - - - 253.3 - - - 0.0282629 - }  
Variable out of the basic set -> s26



```
*** Phase I --- Iteration 6 ***
```

| Basin            | Excavator | Bulldozer | Motor Grader | Vibratory Roller | s5 | s6 | s7        | s8        | s9 | s10 | s11 | s12 | s13 | s14 | s15 | s16 | s17         | s18      | s19       | s20       | s21 | s22 | s23 | s24 | s25 | s26         | RMS      |              |
|------------------|-----------|-----------|--------------|------------------|----|----|-----------|-----------|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------------|----------|-----------|-----------|-----|-----|-----|-----|-----|-------------|----------|--------------|
| s5               | 0         | 0         | 0            | 0                | 1  | 0  | 950.918   | 0         | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0           | 0        | -950.918  | 0         | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0           | 212202   |              |
| s6               | 0         | 0         | 0            | 0                | 0  | 1  | 0         | 1314.64   | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1418.04     | 2608.56  | 0         | -1314.64  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | -1418.04    | -2608.56 | 1.49585e+006 |
| Excavator        | 1         | 0         | 0            | 0                | 0  | 0  | -1.416    | 0         | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0           | 0        | 1.416     | 0         | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0           | 1.63197  |              |
| Bulldozer        | 0         | 1         | 0            | 0                | 0  | 0  | 0         | -1.208    | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0           | 0        | 0         | 1.208     | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0           | 1.52981  |              |
| Motor Grader     | 0         | 0         | 1            | 0                | 0  | 0  | 0         | 0         | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | -0.00380041 | 0        | 0         | 0         | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 50/13153    | 0.24234  |              |
| Vibratory Roller | 0         | 0         | 0            | 1                | 0  | 0  | 0         | 0         | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0           | -2/213   | 0         | 0         | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0           | 2/213    | 0.782947     |
| s11              | 0         | 0         | 0            | 0                | 0  | 0  | 1.416     | 0         | 0  | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0           | 0        | -1.416    | 0         | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0           | 0.368029 |              |
| s12              | 0         | 0         | 0            | 0                | 0  | 0  | 0         | 1.208     | 0  | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0           | 0        | -1.208    | 0         | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0           | 488/2040 |              |
| s13              | 0         | 0         | 0            | 0                | 0  | 0  | 0         | 0         | 0  | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 50/13153    | 0        | 0         | 0         | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | -0.00380041 | 0        | 1.75766      |
| s14              | 0         | 0         | 0            | 0                | 0  | 0  | 0         | 0         | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 0           | 2/213    | 0         | 0         | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0           | -2/213   | 1.21765      |
| s23              | 0         | 0         | 0            | 0                | 0  | 0  | 0.161683  | 0         | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | -1  | 0   | 0           | 0        | -0.161683 | 0         | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0           | 0        | 0.00367019   |
| s24              | 0         | 0         | 0            | 0                | 0  | 0  | 0         | 0.261827  | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | -1  | 0           | 0        | 0         | -0.261827 | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0           | 0        | 0.00667308   |
| s5               | 0         | 0         | 0            | 0                | 0  | 0  | 0         | 0         | 0  | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | -0.790694   | 0        | 0         | 0         | -1  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0.790694    | 0        | 0.00675131   |
| s10              | 0         | 0         | 0            | 0                | 0  | 0  | 0         | 0         | 0  | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0           | -416/213 | 0         | 0         | 0   | -1  | 0   | 0   | 0   | 0           | 416/213  | 0.0282629    |
| Obj.             | 0         | 0         | 0            | 0                | 0  | 0  | -0.161683 | -0.261827 | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 1   | 0           | 0        | 1.56168   | 1.26183   | 1   | 1   | 0   | 0   | 0   | 1           | 1        | 0.01029      |

```
Variable to be made basic -> s8
Ratios: RHS/Column s8 -> { - 1137.84 - - - - 97.8 - - - 0.0254866 - - }
Variable out of the basic set -> s24
```

```
*** Phase I --- Iteration 7 ***
```

| Baris            | Excavator | Bulldozer | Motor Grader | Vibratory Roller | s5 | s6 | s7        | s8 | s9 | s10 | s11 | s12 | s13 | s14 | s15 | s16         | s17     | s18     | s19       | s20 | s21 | s22 | s23 | s24      | s25         | s26      | RMS          |           |
|------------------|-----------|-----------|--------------|------------------|----|----|-----------|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------------|---------|---------|-----------|-----|-----|-----|-----|----------|-------------|----------|--------------|-----------|
| s5               | 0         | 0         | 0            | 0                | 1  | 0  | 950.918   | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0           | 0       | 0       | -950.918  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0        | 0           | 0        | 222202       |           |
| s6               | 0         | 0         | 0            | 0                | 0  | 1  | 0         | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 5021.04     | 1418.04 | 2609.56 | 0         | 0   | 0   | 0   | 0   | -5021.04 | -1418.04    | -2609.56 | 1.49582e+006 |           |
| Excavator        | 1         | 0         | 0            | 0                | 0  | 0  | -1.416    | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0           | 0       | 0       | 1.416     | 0   | 0   | 0   | 0   | 0        | 0           | 0        | 1.63197      |           |
| Bulldozer        | 0         | 1         | 0            | 0                | 0  | 0  | 0         | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | -50/2723    | 0       | 0       | 0         | 0   | 0   | 0   | 0   | 50/2723  | 0           | 0        | 1.52997      |           |
| Motor Grader     | 0         | 0         | 1            | 0                | 0  | 0  | 0         | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | -0.00380241 | 0       | 0       | 0         | 0   | 0   | 0   | 0   | 0        | 50/12153    | 0        | 0.24294      |           |
| Vibratory Roller | 0         | 0         | 0            | 1                | 0  | 0  | 0         | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0           | 0       | 0       | 0         | 0   | 0   | 0   | 0   | 0        | 0           | 2/213    | 0.782347     |           |
| s11              | 0         | 0         | 0            | 0                | 0  | 0  | 1.416     | 0  | 0  | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0           | 0       | 0       | -1.416    | 0   | 0   | 0   | 0   | 0        | 0           | 0        | 0.368029     |           |
| s12              | 0         | 0         | 0            | 0                | 0  | 0  | 0         | 0  | 0  | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 50/2723     | 0       | 0       | 0         | 0   | 0   | 0   | 0   | -50/2723 | 0           | 0        | 0.47007      |           |
| s13              | 0         | 0         | 0            | 0                | 0  | 0  | 0         | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 50/12153    | 0       | 0       | 0         | 0   | 0   | 0   | 0   | 0        | -0.00380241 | 0        | 1.75766      |           |
| s14              | 0         | 0         | 0            | 0                | 0  | 0  | 0         | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0           | 0       | 0       | 2/213     | 0   | 0   | 0   | 0   | 0        | 0           | -2/213   | 1.21767      |           |
| s23              | 0         | 0         | 0            | 0                | 0  | 0  | 0.161693  | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | -1  | 0           | 0       | 0       | -0.161693 | 0   | 0   | 0   | 1   | 0        | 0           | 0        | 0.00362019   |           |
| s4               | 0         | 0         | 0            | 0                | 0  | 0  | 0         | 1  | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | -3.81932    | 0       | 0       | 0         | 0   | -1  | 0   | 0   | 0        | 3.81932     | 0        | 0.0254666    |           |
| s9               | 0         | 0         | 0            | 0                | 0  | 0  | 0         | 1  | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0           | 0       | 0       | -0.799694 | 0   | 0   | -1  | 0   | 0        | 0           | 0.799694 | 0.00675132   |           |
| s10              | 0         | 0         | 0            | 0                | 0  | 0  | 0         | 0  | 1  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0           | 0       | 0       | -416/213  | 0   | 0   | 0   | -1  | 0        | 0           | 0        | 416/213      | 0.0282629 |
| Obj.             | 0         | 0         | 0            | 0                | 0  | 0  | -0.161693 | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0           | 0       | 0       | 1.61668   | 1   | 1   | 1   | 1   | 0        | 1           | 1        | 0.00362019   |           |

```
Variable to be made basic -> s7
Ratios: RHS/Column s7 -> { 223.154 - - - - - 153.1 - - - 0.0223907 - - - }
Variable out of the basic set -> s23
```

```

*** Phase I --- Iteration 8 ***

```

| TABLE 1. Excavators |                  |           |              |                  |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     |          |          |             |           |       |     |     |     |          |          |             |            |              |
|---------------------|------------------|-----------|--------------|------------------|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|----------|----------|-------------|-----------|-------|-----|-----|-----|----------|----------|-------------|------------|--------------|
| Basin               | Excavator        | Bulldozer | Motor Grader | Vibratory Roller | s5 | s6 | s7 | s8 | s9 | s10 | s11 | s12 | s13 | s14 | s15      | s16      | s17         | s18       | s19   | s20 | s21 | s22 | s23      | s24      | s25         | s26        | RMS          |
|                     | s5               | 0         | 0            | 0                | 0  | 1  | 0  | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 5881.39  | 0        | 0           | 0         | 0     | 0   | 0   | 0   | -5881.39 | 0        | 0           | 0          | 2121.80      |
|                     | s6               | 0         | 0            | 0                | 0  | 0  | 1  | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0        | 5021.04  | 1418.04     | 2609.56   | 0     | 0   | 0   | 0   | 0        | -5021.04 | -1418.04    | -2609.56   | 1.49582e+006 |
|                     | Excavator        | 1         | 0            | 0                | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | -10/3363 | 0        | 0           | 0         | 0     | 0   | 0   | 0   | 0        | 50/3363  | 0           | 0          | 1539/343     |
|                     | Bulldozer        | 0         | 1            | 0                | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0        | -50/2723 | 0           | 0         | 0     | 0   | 0   | 0   | 0        | 50/2723  | 0           | 0          | 1.52993      |
|                     | Motor Grader     | 0         | 0            | 1                | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0        | 0        | -0.00380241 | 0         | 0     | 0   | 0   | 0   | 0        | 0        | 50/13153    | 0          | 0.24234      |
|                     | Vibratory Roller | 0         | 0            | 0                | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0        | 0        | 0           | -2/213    | 0     | 0   | 0   | 0   | 0        | 0        | 0           | 2/213      | 0.782347     |
|                     | s11              | 0         | 0            | 0                | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0        | 50/3363  | 0           | 0         | 0     | 0   | 0   | 0   | 0        | -50/3363 | 0           | 0          | 825/2242     |
|                     | s12              | 0         | 0            | 0                | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 0        | 50/2723  | 0           | 0         | 0     | 0   | 0   | 0   | 0        | -50/2723 | 0           | 0          | 0.47807      |
|                     | s13              | 0         | 0            | 0                | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0        | 0        | 0           | 50/13153  | 0     | 0   | 0   | 0   | 0        | 0        | -0.00380241 | 0          | 1.75766      |
|                     | s14              | 0         | 0            | 0                | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0        | 0        | 0           | 0         | 2/213 | 0   | 0   | 0   | 0        | 0        | 0           | -2/213     | 1.21765      |
|                     | s7               | 0         | 0            | 0                | 0  | 0  | 0  | 1  | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | -6.18495 | 0        | 0           | 0         | -1    | 0   | 0   | 0   | 0        | 0        | 0           | 0          | 0.0223907    |
|                     | s8               | 0         | 0            | 0                | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0        | -3.81932 | 0           | 0         | 0     | -1  | 0   | 0   | 0        | 0        | 0           | 0          | 0.0254866    |
|                     | s9               | 0         | 0            | 0                | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1   | -0  | 0   | 0   | 0   | 0        | 0        | 0           | -0.790694 | 0     | 0   | 0   | -1  | 0        | 0        | 0           | 0.00675131 |              |
|                     | s10              | 0         | 0            | 0                | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0        | 0        | 0           | -416/213  | 0     | 0   | 0   | -1  | 0        | 0        | 0           | 0          | 0.0263629    |
|                     | Obj.             | 0         | 0            | 0                | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0        | 0        | 0           | 0         | 1     | 1   | 1   | 1   | 1        | 1        | 1           | 1          |              |



## FASE 2

\*\*\* Phase II --- Start \*\*\*

| Basis            | Excavator | Bulldozer | Motor Grader | Vibratory Roller | s5 | s6 | s7 | s8 | s9 | s10 | s11 | s12 | s13 | s14 | s15      | s16      | s17         | s18      | RHS          |
|------------------|-----------|-----------|--------------|------------------|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|----------|----------|-------------|----------|--------------|
| s5               | 0         | 0         | 0            | 0                | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 5881.39  | 0        | 0           | 0        | 212180       |
| s6               | 0         | 0         | 0            | 0                | 0  | 1  | 0  | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0        | 5021.04  | 1418.04     | 2609.56  | 1.49582e+006 |
| Excavator        | 1         | 0         | 0            | 0                | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | -50/3363 | 0        | 0           | 0        | 1539/943     |
| Bulldozer        | 0         | 1         | 0            | 0                | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0        | -50/2723 | 0           | 0        | 1.52993      |
| Motor Grader     | 0         | 0         | 1            | 0                | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0        | 0        | -0.00380141 | 0        | 0.24234      |
| Vibratory Roller | 0         | 0         | 0            | 1                | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0        | 0        | 0           | -2/213   | 0.782347     |
| s11              | 0         | 0         | 0            | 0                | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 50/3363  | 0        | 0           | 0        | 825/2242     |
| s12              | 0         | 0         | 0            | 0                | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 0        | 50/2723  | 0           | 0        | 0.47007      |
| s13              | 0         | 0         | 0            | 0                | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0        | 0        | 50/13153    | 0        | 1.75766      |
| s14              | 0         | 0         | 0            | 0                | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0        | 0        | 0           | 2/213    | 1.21765      |
| s7               | 0         | 0         | 0            | 0                | 0  | 0  | 1  | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | -6.18495 | 0        | 0           | 0        | 0.0223907    |
| s8               | 0         | 0         | 0            | 0                | 0  | 0  | 0  | 1  | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0        | -3.81932 | 0           | 0        | 0.0254866    |
| s9               | 0         | 0         | 0            | 0                | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0        | 0        | -0.790694   | 0        | 0.00675131   |
| s10              | 0         | 0         | 0            | 0                | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0        | 0        | 0           | -416/213 | 0.0282629    |
| Obj.             | 0         | 0         | 0            | 0                | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 5881.39  | 5021.04  | 1418.04     | 2609.56  | 1.37178e+006 |

>> Optimal solution FOUND  
>> Minimum = 1.37178e+006

## RESULT

\*\*\* RESULTS \*\*\*

| variable         | value    | Obj. Cost | Reduced Cost |
|------------------|----------|-----------|--------------|
| Excavator        | 1539/943 | 395582    | 0            |
| Bulldozer        | 1.52993  | 273446    | 0            |
| Motor Grader     | 0.24234  | 373030    | 0            |
| vibratory Roller | 0.782347 | 277918    | 0            |

| Constraint                | RHS        | Slack        | Dual Price |
|---------------------------|------------|--------------|------------|
| Biaya Galian              | 857780     | 212180       | 0          |
| Biaya Timbunan            | 2.222e+006 | 1.49582e+006 | 0          |
| waktu Excavator           | 678.9      | 0.0223907    | 0          |
| waktu Bulldozer           | 318.2      | 0.0254866    | 0          |
| waktu Motor Grader        | 50.4       | 0.00675131   | 0          |
| waktu vibratory Roller    | 162.7      | 0.0282629    | 0          |
| Jumlah Excavator          | 2          | 825/2242     | 0          |
| Jumlah Bulldozer          | 2          | 0.47007      | 0          |
| Jumlah Motor Grader       | 2          | 1.75766      | 0          |
| Jumlah vibratory Roller   | 2          | 1.21765      | 0          |
| Produksi Excavator        | 109.77     | 0            | 5881.39    |
| Produksi Bulldozer        | 83.32      | 0            | 5021.04    |
| Produksi Motor Grader     | 63.75      | 0            | 1418.04    |
| Produksi vibratory Roller | 83.32      | 0            | 2609.56    |

LAMPIRAN 7. TABEL SIMPLEKS FASE 1

| ITERASI | BASIS | r | X1      | X2      | X3      | X4     | S1    | S2 | R3      | S3      | R4 | S4 | R5      | S5      | R6    | S6     | R7 | S7 | R8 | S8 | R9 | S9 | R10 | S10 | R11 | S11 | R12 | S12 | R13 | S13 | R14         | S14         | SOLUSI  | RASIO     | PENGALI |
|---------|-------|---|---------|---------|---------|--------|-------|----|---------|---------|----|----|---------|---------|-------|--------|----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------------|-------------|---------|-----------|---------|
| 0       | r     | 1 | -483.26 | -262.46 | -471.06 | -314.5 | 0     | 0  | 0       | 1       | 0  | 1  | 0       | 1       | 0     | 1      | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0   | 0   | 1   | 0   | 1   | 0   | 1   | 0   | 1           | 1550.36     |         | 1.162     |         |
|         | S1    | 0 | 395582  | 0       | 0       | 0      | 0     | 1  | 0       | 0       | 0  | 0  | 0       | 0       | 0     | 0      | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0           | 857780      | 2.168   | -950.918  |         |
|         | S2    | 0 | 0       | 273446  | 373030  | 277918 | 0     | 1  | 0       | 0       | 0  | 0  | 0       | 0       | 0     | 0      | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0           | 2222000     |         | 0.000     |         |
|         | R3    | 0 | 0       | 416     | 0       | 0      | 0     | 0  | 0       | 1       | -1 | 0  | 0       | 0       | 0     | 0      | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0           | 678.9       | 1.63197 | 0.002     |         |
|         | R4    | 0 | 0       | 0       | 208     | 0      | 0     | 0  | 0       | 0       | 0  | 1  | -1      | 0       | 0     | 0      | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0           | 318.2       |         | 0.000     |         |
|         | R5    | 0 | 0       | 0       | 0       | 208    | 0     | 0  | 0       | 0       | 0  | 0  | 0       | 1       | -1    | 0      | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0           | 50.4        |         | 0.000     |         |
|         | R6    | 0 | 0       | 0       | 0       | 0      | 208   | 0  | 0       | 0       | 0  | 0  | 0       | 0       | 0     | 1      | -1 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0           | 162.7       |         | 0.000     |         |
|         | S7    | 0 | 1       | 0       | 0       | 0      | 0     | 0  | 0       | 0       | 0  | 0  | 0       | 0       | 0     | 0      | 0  | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 2           | 2.000       | -0.002  |           |         |
|         | S8    | 0 | 0       | 1       | 0       | 0      | 0     | 0  | 0       | 0       | 0  | 0  | 0       | 0       | 0     | 0      | 0  | 0  | 1  | 0  | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 2           |             | 0.000   |           |         |
|         | S9    | 0 | 0       | 0       | 1       | 0      | 0     | 0  | 0       | 0       | 0  | 0  | 0       | 0       | 0     | 0      | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 2           |             | 0.000   |           |         |
|         | S10   | 0 | 0       | 0       | 0       | 1      | 0     | 0  | 0       | 0       | 0  | 0  | 0       | 0       | 0     | 0      | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 2           |             | 0.000   |           |         |
|         | R11   | 0 | 67.26   | 0       | 0       | 0      | 0     | 0  | 0       | 0       | 0  | 0  | 0       | 0       | 0     | 0      | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0   | 0   | 1   | -1  | 0   | 0   | 0   | 0   | 109.77      | 1.63202     | -0.162  |           |         |
|         | R12   | 0 | 0       | 54.46   | 0       | 0      | 0     | 0  | 0       | 0       | 0  | 0  | 0       | 0       | 0     | 0      | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   | 1   | -1  | 0   | 0   | 0   | 0           | 83.32       |         | 0.000     |         |
|         | R13   | 0 | 0       | 0       | 0       | 263.06 | 0     | 0  | 0       | 0       | 0  | 0  | 0       | 0       | 0     | 0      | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | -1  | 0   | 0           | 63.75       |         | 0.000     |         |
|         | R14   | 0 | 0       | 0       | 0       | 0      | 106.5 | 0  | 0       | 0       | 0  | 0  | 0       | 0       | 0     | 0      | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | -1          | 83.32       |         | 0.000     |         |
| 1       | r     | 1 | 0       | -262.46 | -471.06 | -314.5 | 0     | 0  | 1.1617  | -0.1617 | 0  | 1  | 0       | 1       | 0     | 1      | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0   | 0   | 1   | 0   | 1   | 0   | 1   | 0   | 1           | 761.694     |         | 2.265     |         |
|         | S1    | 0 | 0       | 0       | 0       | 0      | 1     | 0  | -950.92 | 950.92  | 0  | 0  | 0       | 0       | 0     | 0      | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0           | 212201.587  |         | 0.000     |         |
|         | S2    | 0 | 0       | 273446  | 373030  | 277918 | 0     | 1  | 0       | 0       | 0  | 0  | 0       | 0       | 0     | 0      | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0           | 2222000     | 5.957   | -1793.413 |         |
|         | X1    | 0 | 1       | 0       | 0       | 0      | 0     | 0  | 0.0024  | -0.0024 | 0  | 0  | 0       | 0       | 0     | 0      | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0           | 1.632       |         | 0.000     |         |
|         | R4    | 0 | 0       | 208     | 0       | 0      | 0     | 0  | 0       | 0       | 1  | -1 | 0       | 0       | 0     | 0      | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0           | 318.2       |         | 0.000     |         |
|         | R5    | 0 | 0       | 0       | 0       | 208    | 0     | 0  | 0       | 0       | 0  | 0  | 1       | -1      | 0     | 0      | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0           | 50.4        | 0.242   | 0.005     |         |
|         | R6    | 0 | 0       | 0       | 0       | 0      | 208   | 0  | 0       | 0       | 0  | 0  | 0       | 0       | 1     | -1     | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0           | 162.7       |         | 0.000     |         |
|         | S7    | 0 | 0       | 0       | 0       | 0      | 0     | 0  | -0.0024 | 0.0024  | 0  | 0  | 0       | 0       | 0     | 0      | 0  | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0           | 0.368       |         | 0.000     |         |
|         | S8    | 0 | 0       | 1       | 0       | 0      | 0     | 0  | 0       | 0       | 0  | 0  | 0       | 0       | 0     | 0      | 0  | 0  | 1  | 0  | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 2           |             | 0.000   |           |         |
|         | S9    | 0 | 0       | 0       | 1       | 0      | 0     | 0  | 0       | 0       | 0  | 0  | 0       | 0       | 0     | 0      | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 2           | 2.000       | -0.005  |           |         |
|         | S10   | 0 | 0       | 0       | 0       | 1      | 0     | 0  | 0       | 0       | 0  | 0  | 0       | 0       | 0     | 0      | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 2           |             | 0.000   |           |         |
|         | R11   | 0 | 0       | 0       | 0       | 0      | 0     | 0  | -0.1617 | 0.1617  | 0  | 0  | 0       | 0       | 0     | 0      | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0   | 0   | 1   | -1  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0           | 0.0036      |         | 0.000     |         |
|         | R12   | 0 | 0       | 54.46   | 0       | 0      | 0     | 0  | 0       | 0       | 0  | 0  | 0       | 0       | 0     | 0      | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   | 1   | -1  | 0   | 0   | 0   | 0           | 83.320      |         | 0.000     |         |
|         | R13   | 0 | 0       | 0       | 0       | 263.06 | 0     | 0  | 0       | 0       | 0  | 0  | 0       | 0       | 0     | 0      | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | -1  | 0   | 0   | 0           | 63.750      | 0.242   | -1.265    |         |
|         | R14   | 0 | 0       | 0       | 0       | 0      | 106.5 | 0  | 0       | 0       | 0  | 0  | 0       | 0       | 0     | 0      | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | -1          | 83.320      |         | 0.000     |         |
| 2       | r     | 1 | 0       | -262.46 | 0       | -314.5 | 0     | 0  | 1.1617  | -0.1617 | 0  | 1  | 2.2647  | -1.2647 | 0     | 1      | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0   | 0   | 1   | 0   | 1   | 0   | 1   | 0   | 1           | 647.552     |         | 1.512     |         |
|         | S1    | 0 | 0       | 0       | 0       | 0      | 1     | 0  | -950.92 | 950.92  | 0  | 0  | 0       | 0       | 0     | 0      | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0           | 212201.587  |         | 0.000     |         |
|         | S2    | 0 | 0       | 273446  | 0       | 277918 | 0     | 1  | 0       | 0       | 0  | 0  | -1793.4 | 1793.4  | 0     | 0      | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0           | 2131611.962 | 7.670   | -1336.144 |         |
|         | X1    | 0 | 1       | 0       | 0       | 0      | 0     | 0  | 0.0024  | -0.0024 | 0  | 0  | 0       | 0       | 0     | 0      | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0           | 1.632       |         | 0.000     |         |
|         | R4    | 0 | 0       | 208     | 0       | 0      | 0     | 0  | 0       | 0       | 1  | -1 | 0       | 0       | 0     | 0      | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0           | 318.2       |         | 0.000     |         |
|         | X3    | 0 | 0       | 0       | 1       | 0      | 0     | 0  | 0       | 0       | 0  | 0  | 0.0048  | -0.0048 | 0     | 0      | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0.242307692 |             | 0.000   |           |         |
|         | R6    | 0 | 0       | 0       | 0       | 208    | 0     | 0  | 0       | 0       | 0  | 0  | 0       | 1       | -1    | 0      | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0           | 162.7       | 0.782   | 0.005     |         |
|         | S7    | 0 | 0       | 0       | 0       | 0      | 0     | 0  | -0.0024 | 0.0024  | 0  | 0  | 0       | 0       | 0     | 0      | 0  | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0           | 0.368       |         | 0.000     |         |
|         | S8    | 0 | 0       | 1       | 0       | 0      | 0     | 0  | 0       | 0       | 0  | 0  | 0       | 0       | 0     | 0      | 0  | 0  | 1  | 0  | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 2           |             | 0.000   |           |         |
|         | S9    | 0 | 0       | 0       | 0       | 0      | 0     | 0  | 0       | 0       | 0  | 0  | -0.0048 | 0.0048  | 0     | 0      | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1.758       |             | 0.000   |           |         |
|         | S10   | 0 | 0       | 0       | 0       | 1      | 0     | 0  | 0       | 0       | 0  | 0  | 0       | 0       | 0     | 0      | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 2           | 2.000       | -0.005  |           |         |
|         | R11   | 0 | 0       | 0       | 0       | 0      | 0     | 0  | -0.1617 | 0.1617  | 0  | 0  | 0       | 0       | 0     | 0      | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0   | 0   | 1   | -1  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0           | 0.0036      |         | 0.000     |         |
|         | R12   | 0 | 0       | 54.46   | 0       | 0      | 0     | 0  | 0       | 0       | 0  | 0  | 0       | 0       | 0     | 0      | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   | 1   | -1  | 0   | 0   | 0   | 0           | 83.32       |         | 0.000     |         |
|         | R13   | 0 | 0       | 0       | 0       | 0      | 0     | 0  | 0       | 0       | 0  | 0  | -1.2647 | 1.2647  | 0     | 0      | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | -1  | 0   | 0   | 0.0085      |             | 0.000   |           |         |
|         | R14   | 0 | 0       | 0       | 0       | 0      | 106.5 | 0  | 0       | 0       | 0  | 0  | 0       | 0       | 0     | 0      | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | -1  | 83.32       | 0.782       | -0.512  |           |         |
| 3       | r     | 1 | 0       | -262.46 | 0       | 0      | 0     | 0  | 1.1617  | -0.1617 | 0  | 1  | 2.2647  | -1.2647 | 1.512 | -0.512 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0   | 0   | 1   | 0   | 1   | 0   | 1   | 0   | 1           | 401.547     |         | 1.262     |         |
|         | S1    | 0 | 0       | 0       | 0       | 0      | 1     | 0  | -950.92 | 950.92  | 0  | 0  |         |         |       |        |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |             |             |         |           |         |

|     |     |   |   |   |   |   |   |   |         |         |         |         |         |         |         |         |        |   |   |   |   |   |   |   |   |   |        |         |         |         |         |             |             |           |        |       |
|-----|-----|---|---|---|---|---|---|---|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|--------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|--------|---------|---------|---------|---------|-------------|-------------|-----------|--------|-------|
| 4   | r   | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1.1617  | -0.1617 | 1.2618  | -0.2618 | 2.2647  | -1.2647 | 1.512   | -0.512  | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0      | 1       | 0       | 1       | 0       | 1           | 0.033       |           | 1.000  |       |
|     | S1  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | -950.92 | 950.92  | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 0       | 0       | 0       | 0       | 212201.587  |             | 0.000     |        |       |
|     | S2  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0       | 0       | -1314.6 | 1314.6  | -1793.4 | 1793.4  | -1336.1 | 1336.1  | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 0       | 0       | 0       | 0       | 1495901.501 | 834.1085494 | -1418.042 |        |       |
|     | X1  | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.0024  | -0.0024 | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 0       | 0       | 0       | 0       | 1.632       |             | 0.000     |        |       |
|     | X2  | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0       | 0       | 0.0048  | -0.0048 | 0       | 0       | 0       | 0       | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 0       | 0       | 0       | 0       | 1.530       |             | 0.000     |        |       |
|     | X3  | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0       | 0       | 0       | 0       | 0.0048  | -0.0048 | 0       | 0       | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 0       | 0       | 0       | 0       | 0.242       | -50.4       | 0.004     |        |       |
|     | X4  | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0.0048  | -0.0048 | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 0       | 0       | 0       | 0       | 0.782       |             | 0.000     |        |       |
|     | S7  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -0.0024 | 0.0024  | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0      | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 0       | 0       | 0       | 0       | 0           | 0.368       |           | 0.000  |       |
|     | S8  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0       | 0       | -0.0048 | 0.0048  | 0       | 0       | 0       | 0       | 0      | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 0       | 0       | 0       | 0       | 0           | 0.470       |           | 0.000  |       |
|     | S9  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0       | 0       | 0       | 0       | -0.0048 | 0.0048  | 0       | 0       | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0      | 0       | 0       | 0       | 0       | 1.758       | 365.6       | -0.004    |        |       |
|     | S10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | -0.0048 | 0.0048  | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1      | 0       | 0       | 0       | 0       | 0           | 1.218       |           | 0.000  |       |
|     | R11 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -0.1617 | 0.1617  | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | -1     | 0       | 0       | 0       | 0       | 0           | 0.0036      |           | 0.000  |       |
|     | R12 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0       | 0       | -0.2618 | 0.2618  | 0       | 0       | 0       | 0       | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1      | -1      | 0       | 0       | 0       | 0           | 0.0067      |           | 0.000  |       |
|     | R13 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | -1.2647 | 1.2647  | 0       | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 1       | -1      | 0       | 0       | 0.0085      | 0.00675     | 0.791     |        |       |
| R14 | 0   | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | -0.512  | 0.512   | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 0       | 1       | -1      | 0.0145  |             | 0.000       |           |        |       |
| 5   | r   | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1.1617  | -0.1617 | 1.2618  | -0.2618 | 1       | 0       | 1.512   | -0.512  | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0      | 1       | 1       | 0       | 0       | 1           | 0.025       |           | 1.000  |       |
|     | S1  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | -950.92 | 950.92  | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 0       | 0       | 0       | 0       | 212201.587  |             | 0.000     |        |       |
|     | S2  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0       | 0       | -1314.6 | 1314.6  | 0       | 0       | 0       | -1336.1 | 1336.1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | -1418   | 1418    | 0       | 0       | 1495889.393 | 1119.556825 | -2609.559 |        |       |
|     | X1  | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.0024  | -0.0024 | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 0       | 0       | 0       | 0       | 1.632       |             | 0.000     |        |       |
|     | X2  | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0       | 0       | 0.0048  | -0.0048 | 0       | 0       | 0       | 0       | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 0       | 0       | 0       | 0       | 1.530       |             | 0.000     |        |       |
|     | X3  | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 0.0038  | -0.0038 | 0       | 0       | 0.242       |             | 0.000     |        |       |
|     | X4  | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0.0048  | -0.0048 | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 0       | 0       | 0       | 0       | 0.782       | -162.7      | 0.009     |        |       |
|     | S7  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -0.0024 | 0.0024  | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0      | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 0       | 0       | 0       | 0       | 0           | 0.368       |           | 0.000  |       |
|     | S8  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0       | 0       | -0.0048 | 0.0048  | 0       | 0       | 0       | 0       | 0      | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 0       | 0       | 0       | 0       | 0           | 0.470       |           | 0.000  |       |
|     | S9  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0      | 0       | 0       | 0       | -0.0038 | 0.0038      | 0           | 1.758     |        | 0.000 |
|     | S10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | -0.0048 | 0.0048  | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0      | 0       | 0       | 0       | 0       | 0           | 1.218       | 253.3     | -0.009 |       |
|     | R11 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -0.1617 | 0.1617  | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | -1     | 0       | 0       | 0       | 0       | 0           | 0.0036      |           | 0.000  |       |
|     | R12 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0       | 0       | -0.2618 | 0.2618  | 0       | 0       | 0       | 0       | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 1       | -1      | 0       | 0       | 0           | 0.0067      |           | 0.000  |       |
|     | S5  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | -1      | 1       | 0       | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 0       | 0       | 0.7907  | -0.7907 | 0           | 0.0068      |           | 0.000  |       |
| R14 | 0   | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | -0.512  | 0.512   | 0       | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 0       | 0       | 1       | -1      | 0.0145      | 0.0283      | 1.953     |        |       |
| 6   | r   | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1.1617  | -0.1617 | 1.2618  | -0.2618 | 1       | 0       | 1       | 0       | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0      | 1       | 1       | 0       | 1       | 0           | 0.0103      |           | 1.000  |       |
|     | S1  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | -950.92 | 950.92  | 0       | 0       | 0       | 0       | 1       | 0       | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 0       | 0       | 0       | 0       | 212201.587  |             | 0.000     |        |       |
|     | S2  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0       | 0       | -1314.6 | 1314.6  | 0       | 0       | 0       | 0       | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | -1418   | 1418    | -2609.6 | 2609.6  | 1495851.63  | 1137.837595 | -5021.043 |        |       |
|     | X1  | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.0024  | -0.0024 | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 0       | 0       | 0       | 0       | 1.632       |             | 0.000     |        |       |
|     | X2  | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0       | 0       | 0.0048  | -0.0048 | 0       | 0       | 0       | 0       | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 0       | 0       | 0       | 0       | 1.530       |             | 0.018     |        |       |
|     | X3  | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 0       | 0       | 0.0038  | -0.0038 | 0           | 0.242       |           | 0.000  |       |
|     | X4  | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 0       | 0       | 0.0094  | -0.0094 | 0           | 0.782       |           | 0.000  |       |
|     | S7  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -0.0024 | 0.0024  | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0      | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 0       | 0       | 0       | 0       | 0           | 0.368       |           | 0.000  |       |
|     | S8  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0       | 0       | -0.0048 | 0.0048  | 0       | 0       | 0       | 0       | 0      | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 0       | 0       | 0       | 0       | 0           | 0.470       | -0.018    | 0.000  |       |
|     | S9  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 0       | 0       | 0       | -0.0038 | 0.0038      | 0           | 1.758     |        | 0.000 |
|     | S10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0      | 0       | 0       | 0       | 0       | -0.0094     | 0.0094      | 1.218     |        | 0.000 |
|     | R11 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -0.1617 | 0.1617  | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | -1     | 0       | 0       | 0       | 0       | 0           | 0.0036      |           | 0.000  |       |
|     | R12 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0       | 0       | -0.2618 | 0.2618  | 0       | 0       | 0       | 0       | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 1       | -1      | 0       | 0       | 0           | 0.0067      | 0.0255    | 3.819  |       |
|     | S5  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | -1      | 1       | 0       | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 0       | 0       | 0.7907  | -0.7907 | 0           | 0.0068      |           | 0.000  |       |
| S6  | 0   | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | -1      | 1       | 0       | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 0       | 0       | 1.9531  | -1.9531 | 0.0283      |             | 0.000     |        |       |
| 7   | r   | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1.1617  | -0.1617 | 1       | 0       | 1       | 0       | 1       | 0       | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1      | 0       | 1       | 0       | 1       | 0           | 0.004       |           | 1.000  |       |
|     | S1  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | -950.92 | 950.92  | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 0       | 0       | 0       | 0       | 212201.587  | 223.154     | -5881.386 |        |       |
|     | S2  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -5021  | 5021    | -1418   | 1418    | -2609.6 | 2609.6      | 1495818.124 |           | 0.000  |       |
|     | X1  | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.0024  | -0.0024 | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 0       | 0       | 0       | 0       | 1.632       |             | 0.015     |        |       |
|     | X2  | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 0       | 0       | 0       | 1.530   |             | 0.000       |           |        |       |
|     | X3  | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.0184 | -0.0184 | 0       | 0       | 0       | 0.242       |             | 0.000     |        |       |
|     | X4  | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 0       | 0       | 0.0094  | -0.0094 | 0.782       |             | 0.000     |        |       |
|     | S7  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -0.0024 | 0.0024  | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0      | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 0       | 0       | 0       | 0       | 0           | 0.368       | 153.1     | -0.015 |       |

|                                   |       |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |         |         |         |         |         |        |         |           |             |        |
|-----------------------------------|-------|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|---------|---------|---------|---------|---------|--------|---------|-----------|-------------|--------|
| 8                                 | r     | 1 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 0  | 1  | 0  | 1  | 0  | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0   | 0   | 1       | 0       | 1       | 0       | 1       | 0      | 1       | 0         | 0.000       |        |
|                                   | S1    | 0 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0   | 0   | -5881.4 | 5881.4  | 0       | 0       | 1       | 0      | 1       | 0         | 212180.30   |        |
|                                   | S2    | 0 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0   | 0   | 0       | 0       | -5021   | 5021    | -1418   | 1418   | -2609.6 | 2609.6    | 1495818.124 |        |
|                                   | X1    | 0 | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0   | 0   | 0.0149  | -0.0149 | 0       | 0       | 0       | 0      | 0       | 0         | 1.6320      |        |
|                                   | X2    | 0 | 0  | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0   | 0   | 0       | 0.0184  | -0.0184 | 0       | 0       | 0      | 0       | 1.5299    |             |        |
|                                   | X3    | 0 | 0  | 0  | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0   | 0   | 0       | 0       | 0       | 0.0038  | -0.0038 | 0      | 0       | 0.2423    |             |        |
|                                   | X4    | 0 | 0  | 0  | 0  | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0   | 0   | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0.0094 | -0.0094 | 0.7823    |             |        |
|                                   | S7    | 0 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0   | 0   | -0.0149 | 0.0149  | 0       | 0       | 0       | 0      | 0       | 0         | 0.368       |        |
|                                   | S8    | 0 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 0  | 0  | 0   | 0   | 0       | -0.0184 | 0.0184  | 0       | 0       | 0      | 0       | 0         | 0.470       |        |
|                                   | S9    | 0 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 0   | 0   | 0       | 0       | 0       | -0.0038 | 0.0038  | 0      | 0       | 1.758     |             |        |
|                                   | S10   | 0 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1   | 0   | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0      | -0.0094 | 0.0094    | 1.218       |        |
|                                   | S3    | 0 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | -1 | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0   | 0   | 6.185   | -6.185  | 0       | 0       | 0       | 0      | 0       | 0         | 0.0224      |        |
|                                   | S4    | 0 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | -1 | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0   | 0   | 0       | 0       | 3.8193  | -3.8193 | 0       | 0      | 0       | 0         | 0.0255      |        |
|                                   | S5    | 0 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | -1 | 1  | 0  | 0  | 0  | 0   | 0   | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0.7907 | -0.7907 | 0         | 0           | 0.0068 |
|                                   | S6    | 0 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | -1 | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0   | 0   | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0      | 1.9531  | -1.9531   | 0.0283      |        |
|                                   |       |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |         |         |         |         |         |        |         |           |             |        |
| LAMPIRAN 2. TABEL SIMPLEKS FASE 2 |       |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |         |         |         |         |         |        |         |           |             |        |
| ITERASI                           | BASIS | Z | X1 | X2 | X3 | X4 | S1 | S2 | R3 | S3 | R4 | S4 | R5 | S5 | R6 | S6 | R7 | S7 | R8 | S8 | R9 | S9 | R10 | S10 | R11     | S11     | R12     | S12     | R13     | S13    | R14     | S14       | SOLUSI      |        |
|                                   | Z     | 1 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0   | 0   | 0       | 5882.7  | 0       | 5031.4  | 0       | 1417.5 | 0       | 2612.4    | 1371782.58  |        |
|                                   | S1    | 0 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0   | 0   | 0       | 5881    | 0       | 0       | 0       | 0      | 0       | 0         | 212180.3    |        |
|                                   | S2    | 0 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0   | 0   | 0       | 0       | 5021    | 0       | 1418    | 0      | 2610    | 1495818.1 |             |        |
|                                   | X1    | 0 | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0   | 0   | 0       | -0.015  | 0       | 0       | 0       | 0      | 0       | 0         | 1.6320      |        |
|                                   | X2    | 0 | 0  | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0   | 0   | 0       | 0       | 0       | -0.018  | 0       | 0      | 0       | 1.5299    |             |        |
|                                   | X3    | 0 | 0  | 0  | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0   | 0   | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | -0.04  | 0       | 0.2423    |             |        |
|                                   | X4    | 0 | 0  | 0  | 0  | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0   | 0   | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0      | -0.009  | 0.7823    |             |        |
|                                   | S7    | 0 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0   | 0   | 0       | 0.015   | 0       | 0       | 0       | 0      | 0       | 0         | 0.368       |        |
|                                   | S8    | 0 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 0  | 0  | 0   | 0   | 0       | 0       | 0       | 0.018   | 0       | 0      | 0       | 0         | 0.470       |        |
|                                   | S9    | 0 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 0  | 0   | 0   | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0      | 0.004   | 0         | 1.758       |        |
|                                   | S10   | 0 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1   | 0   | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0      | 0       | 0.009     | 1.218       |        |
|                                   | S3    | 0 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0   | 0   | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0      | 0       | 0         | 0.0224      |        |
|                                   | S4    | 0 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0   | 0   | 0       | 0       | 0       | 0       | -3.82   | 0      | 0       | 0         | 0.0255      |        |
|                                   | S5    | 0 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0   | 0   | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0      | -0.79   | 0         | 0.0068      |        |
|                                   | S6    | 0 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0   | 0   | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0      | 0       | -1.95     | 0.0283      |        |



### **Denny Dwiputra Notoprasetio,**

Pada tanggal 18 April 1993 di Jakarta lahirlah seorang anak laki-laki yang menulis buku ini. Penulis kemudian melanjutkan hidupnya di Surabaya. Berawal dari sekolah terfavorit pada masanya yaitu SMAN 9 Surabaya penulis mendapatkan inspirasi untuk melanjutkan studinya ke ITS. Tahun 2011 penulis mengawali kehidupan mahasiswanya di Kampus Manyar (D3 Teknik Sipil).

Banyak sekali pengalaman didapatkan di kampus ini. Walaupun jauh dari hiruk pikuk Kampus Sukolilo, penulis bersama angkatanannya DS32 berhasil membuat kehidupan di Manyar sangat mengasyikan, menegangkan dan menyeramkan. Setelah lulus dari program Diploma, penulis melanjutkan pendidikannya ke program sarjana karena merasa masih ingin belajar lebih banyak lagi tentang dunia teknik sipil untuk nantinya diterapkan pada dunia kerja yang sesungguhnya. Penulis mengikuti ujian Lintas Jalur di ITS jurusan Teknik Sipil pada tahun semester genap tahun 2015, yang pada akhirnya penulis berhasil lulus tepat waktu di tahun 2017. Semasa menjadi mahasiswa penulis sangat aktif di berbagai kegiatan organisasi, sebut saja menjadi KaDept Olahraga dan Seni, Menjadi Steering Commite, Menjadi Koor Supporter dan kegiatan keprofesian serta seminar keilmiah yang diadakan di ITS, untuk kegiatan diluar kampus penulis juga menjadi aktivis sosial. Bila ingin bertukar cerita, ide kreatif, memulai bisnis dan berbagi informasi lainnya dengan penulis bisa menghubungi melalui email pribadi penulis :

[denny.notoprasetio@gmail.com](mailto:denny.notoprasetio@gmail.com)